



LINEAMIENTOS PARA EL

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA

DEL TRANSPORTE TERRESTRE EN MÉXICO

VISIÓN 2021 – 2050



GOBIERNO DE
MÉXICO

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTE

DIRECCIÓN GENERAL DE AUTOTRANSPORTE FEDERAL

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO

Lic. Jorge Nuño Lara

SECRETARIO DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Arq. M. D. Rogelio Jiménez Pons

SUBSECRETARIO DE TRANSPORTE

Ing. Jesús Felipe Verdugo López

SUBSECRETARIO DE INFRAESTRUCTURA

Lic. P. T. Laura Nohémi Muñoz Benítez

DIRECTORA GENERAL DE AUTOTRANSPORTE FEDERAL

Mtro. Evaristo Iván Ángeles Zermeño

TITULAR DE LA AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO

Dr. Alberto Mendoza Díaz

DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Elaboración:

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Coordinación:

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA,
COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Mtro. Elías Araujo Arcos
Ing. Elvia Ivonne Vergara Maldonado
Lic. Jorge Sánchez Núñez
Ing. Jorge Trejo Guevara
Ing. Michael Israel Oviedo Guarneros
Mtro. Salvador Monroy Andrade

INSTITUTO MEXICANO
DEL TRANSPORTE

Dr. Francisco J. Carrión Viramontes
Dr. Manuel de Jesús Fabela Gallegos
Mtro. Marco A. Hernández Nochebuena

AGENCIA REGULADORA
DEL TRANSPORTE FERROVIARIO

Dr. Isidro Enrique Zepeda Ortega
Mtro. Rafael Zárate Flores

COOPERACIÓN ALEMANA AL DESARROLLO
SUSTENTABLE (GIZ) EN MÉXICO

Mtra. Aleithya Karina Morales Durán
Ing. Leon Becker

CONSULTORES: Mtro. Juan Jesús González Ávila, Mtro. Juan Camilo Ramírez,
Dr. Aeix Pons y Mtro. Lorenzo Casullo

Documento elaborado en México, entre abril del 2021 y marzo del 2023.

Diseño editorial: KD Contenidos Digitales **Fotografía:** GIZ México, KD Contenidos Digitales, Freepik, **Concesionarios ferroviarios:** IMEX, FOTOS KCSM, Ferrovalle, FERROSUR, CHEPE.

Deslinde de responsabilidad

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento están basados en la metodología y recopilación de insumos facilitados por la GIZ México y sus consultores. No obstante, la GIZ México no puede ser responsable del contenido de este documento, ni garantiza la precisión o integridad de la información por errores, omisiones o pérdidas que surjan de su uso.

Agradecimientos

La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Autotransporte Federal, la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario y el Instituto Mexicano del Transporte agradecen la participación y entusiasmo de todas y todos quienes aportaron en este documento.

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Arq. Rogelio Jiménez Pons, Subsecretario de Transporte
Lic. P. T. Laura Nohémi Muñoz Benítez, Directora General de Autotransporte Federal (DGAF)
Mtro. Evaristo Iván Ángeles Zermeño, Titular de la Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (ARTF)
Ing. Héctor Manuel Bonilla Cuevas, Director General del Instituto Mexicano del Transporte (IMT)
Dr. Javier González Garza, Director General de Vinculación
Lic. Alejandra Mota Márquez, Directora General de Comunicación Social (DGCS)

EQUIPO INTERNO DE TRABAJO

Mtra. Aleithya Karina Morales (GIZ)
Lic. Alfredo Daniel Mata
Ing. Carlos Gil Jimenez (SICT)
Lic. Carolina Coraza (SICT)
Dr. Francisco J. Carrión (IMT)
Dr. Isidro Enrique Zepeda (ARFT)
Ing. Elvia Ivonne Vergara (SICT)
Ing. Jorge Trejo Guevara (SICT)
Ing. José Sergio Castañeda (SICT)
Ing. Leon Becker (GIZ)
Dr. Manuel de Jesús Fabela (IMT)
Lic. Marco Antonio González (SICT)
Dr. Marco A. Hernández (IMT)
Lic. Monserrat González (SICT)
Ing. Michael Israel Oviedo (SICT)
Mtro. Rafael Zárate (ARTF)
Ing. Salomón Elnecavé Korish (SICT)
Mtro. Salvador Monroy (SICT)
Mtra. Stephanie Hartmann (GIZ)
Mtro. Juan Camilo Ramírez (Ricardo Energy & Environment)
Dr. Aleix Pons (Ricardo Energy & Environment)
Mtro. Lorenzo Casullo (Ricardo Energy & Environment)
Mtra. Martha de la Rosa (SICT)
Ing. Gerardo Michel Cuen (SICT)
Ing. Jesús Pablo Mercado Díaz (SICT)

ESPECIALISTAS CONSULTADOS

Ing. Agustín Melo (LIDIKA)
Ing. Alberto Álvarez (Plasser American)
Mtro. Antonio García-Chávez (IMA-GENL)
Mtro. Armando Maldonado (Conuee)
Arnoldo Lanzarín (Emartrons)
Ing. Arturo Zermeño (DINA)
Ing. Axayácatl Pacheco (ADOFER)
Ing. Carlos A. Morán (SICT)
Daniel M. Stephan (CIDESI)
Dr. David Camacho Alcocer
Mtro. Daniel Montañez (ANTP)
Mtra. Diana Guzmán Torres (SEMARNAT)
Edna Espinoza (CUMMIS)
Efrén Torres Rivera (Daimler)
Eliseo Bonive (Hino Motors)
Emilio Morales (SICT)
Enrique Gonzalez (Vossloh)
Mtro. Erick Hernández (Volvo Buses)
Lic. Erika Ruiz (AMDA)
Eugenio Granídio (TASSM)
Fabian Garces (ISUZU Motors)
Fátima Bustamante (Pragmatec)
Lic. Fausto Cuevas (AMIA)
Felipe Gallego (Potencia Industrial)
Ing. Francisco Casquera (Kenworth - Paccar)
Francisco González (USDOT)
Mtro. Francisco Javier García (CONUEE)
Ing. Francisco Luis Quintero (EdoMex)
Gabriela López (HELLA)
Dr. Gengis K. Toledo (CIDESI)
Dr. Guadalupe Ramos (SMH, UAM)
Mtro. Hiram Abif Hernández (CIDESI)
Ilse Avalos (ICM)
Dra. Ilse Cervantes (IPN)
Ingrid Méndez (ANTP)
Mtro. Isaac Castañeda (ANASEVI)
Dr. Ismael Araujo (IPN)
Dr. Jaime de Jesús Paredes (UNAM)
Ing. Jesús Pablo Mercado (SICT)
Jhoamin Vázquez (DINA Camiones)
Mtro. Joel Ahumada (IPN)
Ing. Juan Antonio Álvarez (ADOFER)

Mtro. Juan Carlos Villa (TTI)
Juan Hiro Hasebe (NAVISTAR)
Krista Zafra (AMDA)
Laura Verónica Alemán (UTSJR)
Ing. Luis Iván Ruiz Flores (Etap Latam)
Dr. Luis del Llano (CIDESI)
Ma. Guadalupe Haro (Pragmatec)
Marcelo Perez (US DOT FMCSA)
Marco García
Mtra. Maribel García (UNAM)
Mario D. Gutiérrez (Emartrons)
Mtro. Matías Ramírez (ADOFER)
Mtro. Rodolfo Hernández (Scania)
Miguel Acevedo (Ace Automotive)
Mtro. Miguel Ogazón del Abrego (ANPACT)
Mónica Ruiz (AMIA)
Dr. Nicolas Domínguez-Vergara (UAM)
Oscar Águila (LIDIKA)
Mtro. Oscar E. Martínez (UNAM)
Oscar Esparza (Siemens Mobility)
Oscar Farfán (SEMICMEX)
Ing. Oscar García (ADOFER)
Oscar Ruiz (Daimler Trucks)
Osvaldo Ramón Belmont (AMIA)
Ing. Pascual Romo de Vivar (CONUEE)
Lic. Rafael Espinosa (Cummins)
Ing. Raúl Ponce de León (Cummins)
Ing. Rene Chávez (MAN Truck)
Rodolfo Valadez (Navistar - Anpact)
Dr. Rogelio González (UNAM)
Dra. Rosa de Guadalupe González (IPN)
Mtra. María del Rosario Santander (Sustentapp)
Ing. Salvador de Jesús Saavedra (CANACINTRA)
Sergio González (CMDf)
Lic. Sharon Yepiz Aboytes (SICT)
Silverio Reyes (Daimler Trucks)

SOPORTE

Jael Antonio González
Mtra. Maribel García (UNAM)
Mtra. Nancy Maribel Vargas (IPN)
Lic. Patricia María Wolf

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Lic. Aldo Pérez (Cruise)
Mtro. Bastian Manz (PEM Motion)
Ing. Enrique Balanzategui (M.O.V.E.S.)
Guadalupe Contreras (U.S.DOT)
Ing. Gerardo Michel Cuen (SICT)
Dr. Guillermo Aguirre (ADIAT, Innovalia)
Haydee Martínez (HONDA Canadá)
Jason Hill (U.S. DOT)
Dr. Jorge Lozada (Kenworth - Paccar)
Jorge Ríos (Deutsche Bahn)
Dr. José Guillermo Zozaya (AMIA)
Mtro. Juan Carlos Villa (TTI)
Ing. Miguel Elizalde (ANPACT)
Mtro. Oscar de Buen Richkarday (AINDA)
Dr. Roberto Aguerrebere (CIC)

Abreviaturas

AMDA	Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores
ANPACT	Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones
APP	Asociaciones Público-Privadas
ARTF	Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario
ATO	Operación Automática de Trenes
ATP	Protección Automática del Tren (ATP, por sus siglas en inglés - <i>Automatic Train Protection</i>)
BEV	Vehículos Eléctricos Puros a Batería (BEV, por sus siglas en inglés - <i>Battery Electric Vehicle</i>)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIM	Sistema de modelado de información de construcción (BIM, por sus siglas en inglés - <i>Building Information Modeling</i>)
BM	Banco Mundial
CBTC	Communications-Based Train Control
CCE	Coordinador Empresarial
CCTV	Sistemas de cámaras de videovigilancia (CCTV, por sus siglas en inglés - <i>Closed Circuit Television</i>)
CFR	Código de Regulaciones Federales (CFR, por sus siglas en inglés - <i>Code of Federal Regulations</i>)
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
CNFN	Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril
COFECE	Comisión Federal de Competencia Económica
CONALEP	Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica
DAI	Detección Automática de Incidentes
DB	Doing Business
DGAF	Dirección General de Autotransporte Federal
DGDFM	Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal
DGT	Dirección General de Tráfico
DOF	Diario Oficial de la Federación
DSRC	Dispositivos Dedicados de Comunicación de Corto Alcance (DSRC, por sus siglas en inglés - <i>Devices Short Range Communication</i>)
DUBA	Diésel de Ultra Bajo Azufre
ENME	Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica
ETCS	European Train Control System
ETD	Estación de Toma de Datos
FCEV	Vehículos Eléctricos de Celda de Combustible (FCEV, por sus siglas en inglés - <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>)
FMCSA	Administración Federal para la Seguridad de los Transportistas (FMCSA, por sus siglas en inglés - <i>Federal Motor Carrier Safety Administration</i>)

GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable
GNC	Gas Natural Comprimido
GNL	Gas Natural Licuado
HEV	Vehículos Híbridos (HEV, por sus siglas en inglés - <i>Hybrid Electric Vehicle</i>)
HRS	Estaciones de recarga de hidrógeno (HRS, por sus siglas en inglés - <i>Hydrogen Refuelling Station</i>)
IA	Inteligencia Artificial
ID+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
IEA	Agencia Internacional de Energía
IMT	Instituto Mexicano del Transporte
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IoT	Internet de las Cosas
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ITIF	Information Technology and Innovation Foundation
ITS	Sistemas Inteligentes del Transporte (ITZ, por sus siglas en inglés - <i>Intelligent Transport Systems</i>)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MaaS	Mobility as a Service MaaS
ML	Aprendizaje de máquinas (ML, por sus siglas en inglés - <i>Machine Learning</i>)
MRT-TT	Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NDC	Contribución Determinada a nivel Nacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OFL	Observatorio Ferroviario de América Latina
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSC	Organizaciones de la Sociedad Civil
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
PHEV	Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV, por sus siglas en inglés - <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>)
PIB	Producto Interno Bruto
PTC	Sistema de Control Ferroviario (PTC, por sus siglas en inglés - <i>Positive Train Control</i>)
PyMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
RFID	Sistemas de Comunicación de Radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés - <i>Radio Frequency Identification</i>)
SAI	Sistemas de Alimentación Ininterrumpida

SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
SIN	Sistema de Innovación Nacional
T-MEC	Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá
TRIMIS	Sistema de Seguimiento e Información de la Investigación y la Innovación en el Transporte (TRIMIS, por sus siglas en inglés - <i>Transport Research and Innovation Monitoring and Information System</i>)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
WIN	Sistemas de pasaje dinámico (WIN, por sus siglas en inglés - <i>WIN - Weighing in Motion</i>)

CONTENIDO

11	Introducción
18	Antecedentes
26	Objetivos
30	CAPÍTULO 1. Situación del Transporte Terrestre en México
31	Marco general
35	Autotransporte
35	Infraestructura de carreteras
38	Accidentalidad en carreteras federales
46	Vehículos de transporte de pasajeros
47	Vehículos de transporte de carga y mercancías
54	Transporte ferroviario
54	Infraestructura ferroviaria
57	Transporte ferroviario de pasajeros
58	Transporte ferroviario de carga y mercancías
62	Operación del transporte terrestre, de la infraestructura multimodal y del intercambio logístico
67	CAPÍTULO 2. Tendencias tecnológicas en el transporte
73	Cibernética de las operaciones
80	Cibernética de las operaciones en elementos del sistema de transporte
87	Vehículos automatizados y robóticos
95	Tecnologías de alimentación y eficiencia energética
105	CAPÍTULO 3. Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre
108	Acciones estratégicas
110	Acciones para la transformación
138	Acciones para la integración
153	Acciones para impulsar el desarrollo competitivo
174	Proyecciones y construcción del Mapa de Ruta Tecnológica
183	Impactos y retos tecnológicos de las proyecciones futuras
186	Nuevos retos en la interacción con las nuevas tecnologías
189	Conclusiones
196	Índice de tablas
196	Índice de mapas
196	Índice de figuras
199	Bibliografía



INTRODUCCIÓN



Introducción

La construcción de un Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre en México (MRT-TT) es una iniciativa de la Subsecretaría de Transporte de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

Tiene como finalidad construir una visión de futuro consensuada con los distintos actores, que facilite la elaboración de políticas públicas y normativas asociadas al advenimiento de las tendencias tecnológicas globales, en el contexto nacional del transporte carretero y ferroviario, que permitan la transición tecnológica hacia un transporte moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo.

En este contexto, participaron la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), la Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (ARTF) y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), este último como brazo técnico de la SICT, bajo la guía metodológica y sistematización de insumos de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) en México, en el marco de colaboración bilateral “Programa Transporte Sustentable” entre el Gobierno de México y el Gobierno de Alemania.

Este documento presenta los **Lineamientos para el MRT-TT**. Un Mapa de Ruta Tecnológica busca trazar una serie de líneas de acción estratégicas y prioritarias bajo las cuales se lleve a cabo una transición tecnológica en un sector específico.

Para proponer estas líneas estratégicas, se ha contemplado analizar esta transición tecnológica del transporte terrestre en México a través del concepto de **perspectiva multinivel**.

La perspectiva multinivel se denomina así porque identifica los siguientes tres niveles sociotécnicos dentro de los sistemas sociales (por ejemplo, el sistema de transporte terrestre) (Whitmarsh, 2012):

1. Los nichos, donde surgen las innovaciones tecnológicas.
2. El régimen, que comprende las instituciones y tecnologías dominantes del sector.
3. El panorama global, que representa las tendencias a nivel macro (económicas, ambientales, culturales, políticas, normativas, regulatorias, entre otras) e identifica las condiciones habilitantes y las barreras contextuales para el desarrollo de una transición tecnológica.

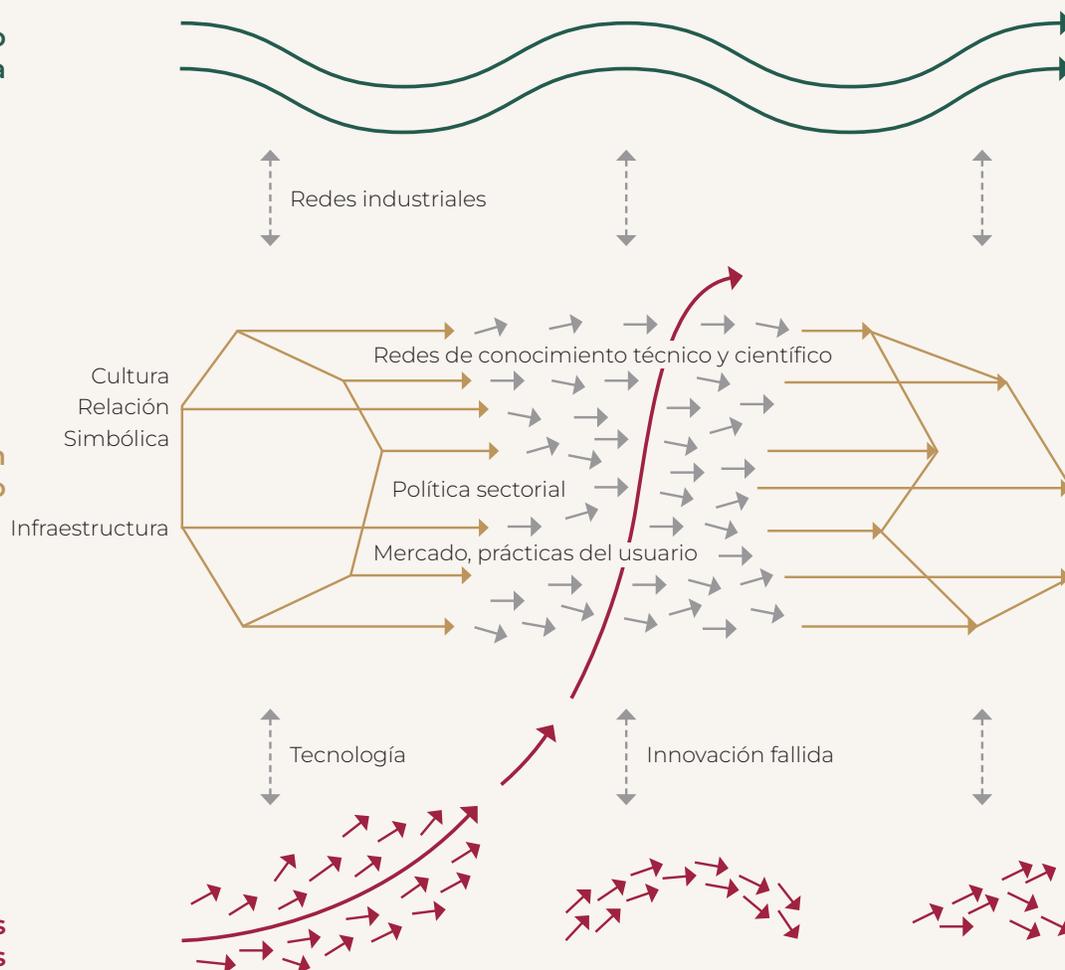


Este enfoque se ha preferido porque comprende no solo el aspecto técnico, también incluye la relevancia de la representación de actores sociales y sus interacciones para generar cambios en la adopción de nuevas tecnologías en el transporte terrestre en México.

La **Figura 1** ilustra cómo los actores y elementos de estos niveles sociotécnicos interactúan entre sí para dar como resultado una transformación del régimen sociotécnico o una transición tecnológica.

Figura 1

Dinámicas de una transición tecnológica en la perspectiva multinivel

Desarrollo del panorama**Régimen sociotécnico****Nichos tecnológicos**

Fuente: Adaptado de Geels, F. W. *Technological transitions as evolutionary reconfiguration* (2022).

Como puede observarse, el **régimen sociotécnico** está compuesto por varias dimensiones. Estas comprenden:

- » Tecnologías dominantes en uso.
- » Dinámicas del mercado y las prácticas de los usuarios.
- » Política sectorial vigente referente a transporte terrestre.
- » Redes industriales (organizaciones gremiales, operadores, proveedores de tecnología, etc.).

- » La cultura y la relación simbólica que tienen los usuarios con el sistema.
- » Redes de desarrollo y transferencia de conocimientos científicos y técnicos.
- » Infraestructura.

El régimen podría entenderse como el estado actual del transporte terrestre en México con sus múltiples dimensiones, como las mencionadas previamente. Este régimen recibe presiones del desarrollo del panorama a través de condiciones macro.

Las **condiciones macro** pueden ser, por ejemplo, compromisos climáticos internacionales, lineamientos de política general, como los consignados en el Plan Nacional de Desarrollo, o de política sectorial, como el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes, además de leyes, decretos y otros instrumentos regulatorios y normativos de carácter general. Este tipo de presiones crean ventanas de oportunidad dentro del régimen para que nuevos actores e innovaciones tecnológicas sean parte del régimen.

El **nicho sociotécnico** está compuesto por actores e innovaciones tecnológicas que buscan ser parte del régimen. Una vez que estos hacen su transición para lograrlo, aprovechando las ventanas generadas desde el paisaje, es que se produce una transición tecnológica que se manifiesta como una nueva configuración del régimen sociotécnico.

Como puede verse, los nichos tecnológicos inicialmente interactúan e irrumpen en la dimensión de tecnología y, progresivamente, van influenciando el mercado, la infraestructura, la política sectorial, y así todas las dimensiones del régimen hasta lograr una nueva configuración en lo que se entiende como transición tecnológica.

Cuando la innovación tecnológica ha logrado irrumpir y escalar, como se ve a lo largo del tiempo, termina influenciando y moldeando aspectos macro del panorama.

Por último, se presentan las **innovaciones fallidas** que son aquellas que no logran irrumpir y cambiar la trayectoria de las diferentes dimensiones del régimen, empezando por la dimensión de tecnología.

En este sentido, el presente documento busca dar lineamientos y recomendaciones de líneas de acción para los tomadores de decisiones y formuladores de política, bajo las cuales pueden abrirse esas ventanas de oportunidad para la adopción de las tecnologías en el transporte terrestre en México.

De este modo, por las mismas dinámicas de los avances tecnológicos y la urgencia de las presiones sociales y climáticas que hoy enfrenta el mundo, se pretende establecer metas o acciones sin una temporalidad específica establecida por décadas o periodos fijos de tiempo.

Lo que se busca es clasificar las acciones según su urgencia e impacto, como aquellas de corto, mediano y largo plazos.

Bajo el enfoque propuesto, el documento está dividido en tres partes: la primera, enuncia la situación actual del transporte terrestre en México, dando una idea de la configuración tecnológica actual del régimen sociotécnico del transporte terrestre en México.

La segunda, presenta una visión prospectiva de las tendencias predominantes en el mundo y del advenimiento de las tecnologías emergentes en el contexto nacional.

La tercera, plantea los Lineamientos del Mapa de Ruta Tecnológica a través de una serie de acciones específicas enmarcadas dentro de tres líneas de acción estratégicas: a) acciones para la transformación; b) acciones para la integración; y c) acciones para impulsar el desarrollo competitivo.

Se espera que estas **acciones estratégicas** sean las que, desde el paisaje, generen ventanas de oportunidad para que los actores y las tecnologías que forman parte del nicho, y las que estén por venir, puedan transitar hacia el régimen, transformando tecnológicamente el transporte terrestre en México.

Para estas acciones se ha realizado un ejercicio de análisis y priorización con el fin de determinar qué acciones tienen mayor impacto en la transición tecnológica y la integración del transporte terrestre en México que, según sus costos o dificultades de implementación, deben tenerse en cuenta como primordiales para cumplir el Mapa de Ruta propuesto.

Este es un ejercicio de priorización que permitirá evaluar la relevancia de cada una de esas acciones para priorizarlas de cara a la construcción de un Mapa de Ruta Tecnológica con acciones de corto, mediano y largo plazos.

Para la construcción del Mapa de Ruta se incluye otro enfoque de análisis de **transiciones tecnológicas**, llamado funciones de los sistemas de innovación.

Toda transición tecnológica tiene que ver con procesos de innovación *per se*. Estos procesos de innovación están enmarcados bajo un sistema que, en este caso, es específico para tecnologías de transporte terrestre.

Dicho enfoque plantea que existen siete funciones principales de los sistemas de innovación que permiten evaluar si este funciona de manera correcta. Se presentará el enfoque, las funciones y se recomienda crear instancias de gobernanza donde se generen indicadores para cada una de esas funciones, y de esta manera evaluar y dar seguimiento al avance de la transición tecnológica del transporte terrestre en México.

Este tipo de indicadores ayudarán a establecer y mantener objetivos claros, sin importar si las acciones estratégicas se ajustan, eliminan o reemplazan por nuevas a lo largo del tiempo. Sin embargo, la revisión periódica de los indicadores establecidos también es necesaria.

Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones de siguientes pasos para la implementación del MRT-TT. Allí se propone realizar revisiones y actualizaciones periódicas a los planes y estrategias planteados. Esto en el marco de un mundo globalizado en donde la tecnología y el desarrollo de la ciencia y la innovación evolucionan y se actualizan a un ritmo acelerado.

Los cambios acelerados obligan a este tipo de revisiones constantes en la planeación de política pública, no solo para llevar a México hacia un transporte moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo, sino para mantenerse actualizado y no permitir aún más rezagos tecnológicos que impacten directamente en el desarrollo socioeconómico del país.



ANTECEDENTES

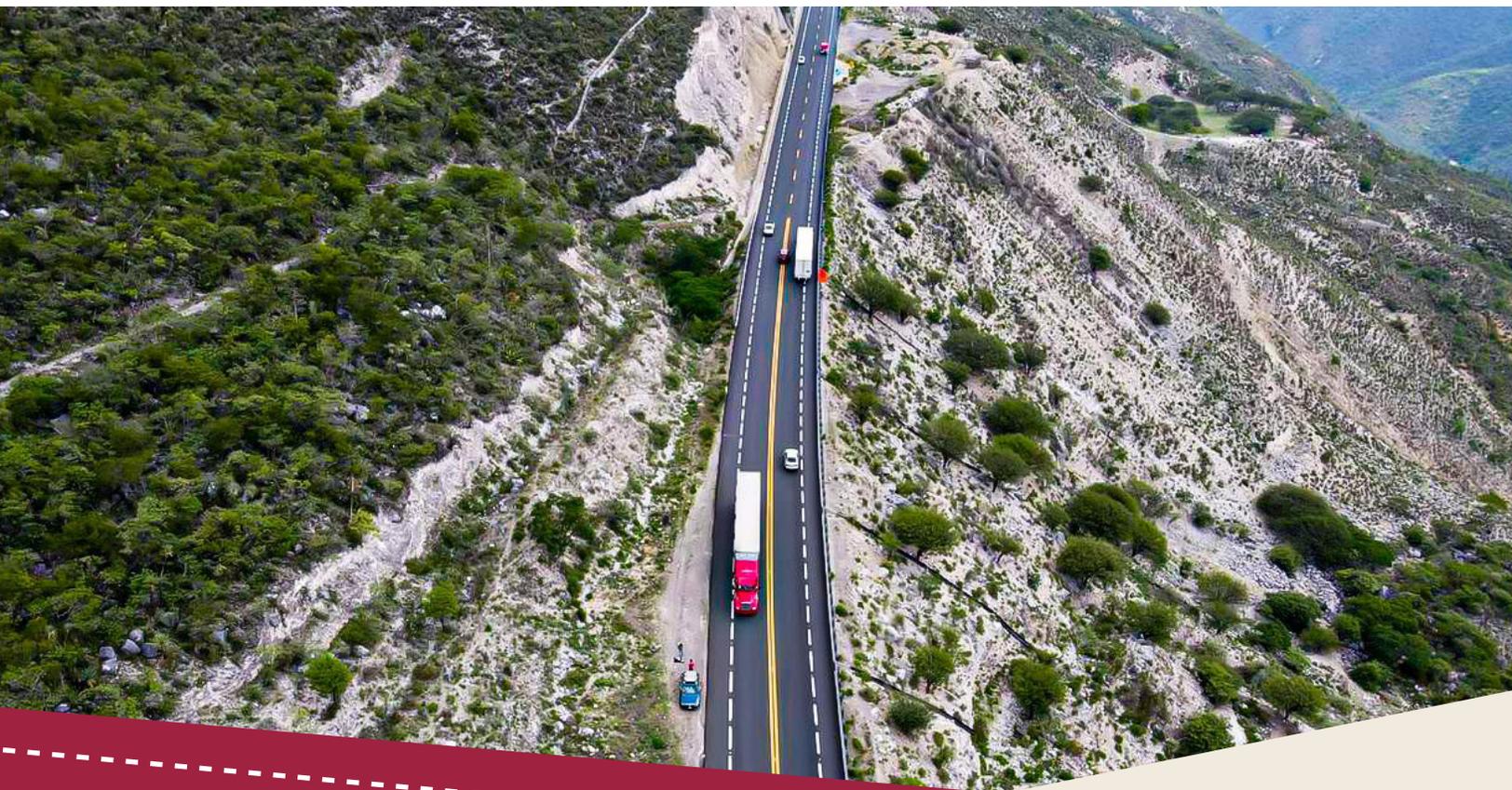


Antecedentes

El avance tecnológico es uno de los principales factores para el impulso del desarrollo económico y social de un país, por lo que es parte importante de la planeación estratégica de corto, mediano y largo plazos.

En este sentido, el transporte es uno de los sectores que ha presentado importantes avances e innovaciones en los últimos años para responder a las necesidades actuales y futuras en el transporte de carga y pasajeros.

Actualmente, los pronósticos de crecimiento del transporte terrestre son de más del doble de lo que se pronosticaba a inicios del siglo XXI, y apuntan a que al 2050 el transporte de pasajeros se multiplicará por 2.3 y el transporte de carga por 2.6 (OECD, 2021).



Este crecimiento constante también plantea desafíos de eficiencia, seguridad vial Organización de las Naciones Unidas (ONU) Declaración de Estocolmo. Tercera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial: Alcanzar los objetivos mundiales para 2030 y sostenibilidad (ONU, Acuerdo de París, 2015) que los gobiernos se han propuesto resolver, formulando metas mediante acuerdos globales y locales (López T. G., 2020).

Se han generado compromisos para un desarrollo tecnológico con visión de sostenibilidad económica, social y ambiental, lo cual ha impulsado la cooperación y trabajo conjunto entre diferentes regiones del mundo y colaboraciones entre países para construir acciones coordinadas. Estas sinergias se construyen desde las instancias gubernamentales, las empresas, las redes académicas y de investigación, así como las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC).

El compromiso de México al 2030 para contribuir a la mitigación del cambio climático se considera en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y en la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) vigente en México, donde se propone lo siguiente:

- » Lograr una reducción incondicional del 35% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- » Reducir en 51% las emisiones de carbono negro.
- » Alcanzar metas condicionales del 40% en reducción de emisiones de GEI y 70% en emisiones de carbono negro.

El cumplimiento de estos compromisos solo se conseguirá a través del involucramiento de los diferentes sectores de la economía, en los que es factible plantear acciones de mitigación efectivas que permitan transitar hacia una economía baja en carbono y competitiva a nivel global. Y el sector transporte juega un papel fundamental en el éxito de estas acciones.

Para atender los retos del sector transporte se han promovido esfuerzos de diálogo con la iniciativa privada para crear estrategias conjuntas de mitigación, donde el cambio tecnológico es uno de los temas centrales (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2016).

En respuesta a ello, se crean estrategias para el **impulso de la electromovilidad** (Sánchez-Vela, y otros, 2020) con iniciativas de política pública en favor de la sustitución tecnológica en el sector transporte (Martínez, y otros, 2020).

En este sentido, destacan los trabajos en marcha realizados por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para constituir una estrategia nacional de movilidad eléctrica, la cual se trabaja desde el año 2017 y se espera su publicación hacia finales del año 2022 o a inicios del 2023.

Asimismo, se espera la creación del plan de implementación de dicha estrategia, desde la ruta de electromovilidad en el transporte, que prepara la Secretaría de Energía (SENER), con un enfoque hacia la eficiencia energética; ambas perspectivas involucran a otras instancias del gobierno federal, como la SICT.

En cuanto a la seguridad, los Estados miembros de la ONU, donde se encuentra México, suscribieron los compromisos expresados en la Declaración de Estocolmo, en la Tercera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial realizada en Suecia, del 16 al 23 de febrero del 2020, en el marco de la Organización Mundial de la Salud (OMS), misma que tuvo como objetivo crear políticas públicas que reduzcan las muertes por accidentes en al menos un 50% entre los años 2020 y 2030.

En tal sentido, a México le corresponde mejorar la seguridad vial a través del impulso de esfuerzos globales que logren una reducción significativa de muertes y lesiones, además de definir estrategias y planes de acción para la seguridad vial como los consignados en la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial publicada en mayo de 2022.

Los lineamientos propuestos en este documento tienen como uno de sus ejes transversales la seguridad vial, con la idea de dar a conocer información útil para el desarrollo, la aplicación y el despliegue de tecnologías existentes y futuras, entre otras innovaciones, para mejorar y favorecer un sistema seguro de transporte terrestre.

La necesidad de la creación del MRT-TT nace del cumplimiento de las líneas estratégicas señaladas en el Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2024 en donde, entre sus políticas sociales y económicas, se encuentran:

- Construir un país con bienestar.
- Promover el desarrollo sostenible.
- Detonar el crecimiento.
- Impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo.
- Construcción de caminos rurales.
- Autosuficiencia alimentaria y rescate del campo.
- Ciencia y tecnología.

Realizar la transición hacia un transporte terrestre moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo permitirá potenciar y alcanzar cada uno de estos objetivos, tanto en materia social como económica. El desarrollo de un transporte más moderno e innovador a través de la transferencia de conocimiento y el desarrollo de ciencia y tecnología permitirá aumentar la eficiencia del transporte terrestre en México, lo que se traducirá en una economía más competitiva desde el campo a las ciudades y al mercado global.

Este aumento en competitividad generará impactos positivos en la economía que se verán reflejados en la construcción del bienestar de un país, con la generación de un crecimiento económico, nuevos y mejores empleos, reducción en los riesgos de salud, mejora en la calidad de servicios y, en general, mejores condiciones de vida para los mexicanos.

Igualmente, cabe resaltar que dentro del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020 - 2024, se establecieron estrategias prioritarias que tienen incidencia en el transporte terrestre, para realizar una planeación de desarrollo integral del país, como señala el Objetivo Prioritario 2 que indica lo siguiente:

“Objetivo prioritario 2. Contribuir al desarrollo del país mediante el fortalecimiento del transporte con visión de largo plazo, enfoque regional, multimodal y sustentable, para que la población, en particular en las regiones de menor crecimiento, cuente con servicios de transporte seguros, de calidad y cobertura nacional.” (DOF, 2020).

Este objetivo se alinea completamente con los objetivos generales del Mapa de Ruta que se desarrollará en este documento, ya que la visión a largo plazo, con enfoque regional, multimodal y sustentable para lograr servicios de transporte más seguro, de mayor calidad y con cobertura nacional es lo que se pretende con la transición tecnológica aquí planteada.

Asimismo, dentro del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020 - 2024, se establecen estrategias específicas para dar cumplimiento a los objetivos trazados por el plan.

Las estrategias que se alinean al alcance de este Mapa de Ruta que propone el Programa Sectorial para dar cumplimiento al objetivo prioritario mencionado anteriormente son:

“Estrategia prioritaria 2.5. Diseñar e implementar las acciones que garanticen la calidad del servicio, la inclusión de los grupos vulnerables y la sustentabilidad del transporte.” (DOF, 2020).

“Estrategia prioritaria 2.6. Impulsar la planeación estratégica de largo plazo del sector transporte con base en criterios de desarrollo regional y logístico, inclusión social, conectividad, sustentabilidad e innovación tecnológica, a fin de contribuir al desarrollo económico y social sostenido.” (DOF, 2020).

Dentro de la estrategia prioritaria 2.6, se ha incluido una acción específica relacionada con la implementación de sistemas inteligentes de transporte.

Este Mapa de Ruta responde a esa acción específica planteada por el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020 - 2024, y aquí se establece el camino de implementación a seguir para lograr una transición hacia sistemas inteligentes de transporte.

Esto no quiere decir que sea el único fin último de este documento como se presentará en los objetivos, pero sí que este obedece a dar respuesta al cumplimiento del Programa Sectorial en sus acciones propuestas.

A continuación, se presenta la acción específica 2.6.5 enmarcada dentro de la estrategia prioritaria 2.6:

“2.6.5. Fomentar la implementación de sistemas inteligentes de transporte.”
(DOF, 2020).

Igualmente, el Programa Sectorial dentro del Objetivo 3. Promover la cobertura, el acceso y el uso de servicios postales, telecomunicaciones y radiodifusión, en condiciones que resulten alcanzables para la población, con énfasis en grupos prioritarios y en situación de vulnerabilidad, para fortalecer la inclusión digital y el desarrollo tecnológico, contempla una serie de estrategias prioritarias dentro de las cuales se encuentra la siguiente:

“Estrategia prioritaria 3.4. Promover el desarrollo tecnológico en diversos campos de las telecomunicaciones, la radiodifusión y el uso pacífico del espacio para la transformación y la inclusión digital.” (DOF, 2020).

Este Mapa de Ruta también pretende dar cumplimiento a dicha estrategia prioritaria planteando las acciones estratégicas para modernizar y digitalizar el transporte terrestre en México.

Todas estas acciones crean la necesidad de contar con una visión clara de las tendencias de los cambios tecnológicos de los próximos años, alineada a los compromisos para incrementar la seguridad vial, y propiciar la reducción de GEI y contaminantes locales del sector transporte.

En términos de la movilidad eléctrica, podemos enunciar los compromisos internacionales que México ha firmado hasta el momento:

- » *Driving Change Together Partnership*: Iniciativa lanzada durante la COP24 en Katowice, Polonia, donde se llamó a las partes a promover la movilidad eléctrica como una medida esencial para descarbonizar el sector transporte (Forum, 2021).
- » Programa Especial de Cambio Climático, PECC 2021 - 2024: Instrumento rector del compromiso climático de la federación que logra transversalizar la acción climática en cada administración. Como parte de las líneas de acción que se han comprometido, las 2.1.4, 2.2.1, 2.2.6 y 2.2.8, impulsarán la integración de la movilidad eléctrica a nivel nacional (SEMARNAT, 2021).
- » Declaración de la COP26 sobre la aceleración de la transición hacia el 100% de vehículos de cero emisiones en los segmentos de carros y furgonetas.



OBJETIVOS



Objetivos

Bajo la coordinación de la SICT, se convocó a un grupo interno de trabajo para plantear los objetivos estratégicos que fueron la guía en la construcción de las líneas de acción estratégica, bajo las cuales se proyectarán objetivos y escenarios futuros para la **transición tecnológica del transporte terrestre en México** durante los próximos años, considerando las tendencias tecnológicas, económicas y sociales.

Para lograr dichos objetivos es fundamental la participación conjunta del gobierno, las empresas, la academia y la sociedad civil; es decir, los actores de la cuádruple hélice.

El objetivo principal del MRT-TT en México es promover una modernización del transporte terrestre en México, a través de la transición tecnológica para la integración de los diferentes modos de transporte con la eficiencia y la innovación.

Esta transición tecnológica comprende la transformación del transporte terrestre en México en un sistema moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo que permitirá ofrecer al pueblo mexicano los siguientes cobeneficios:

- » Eficiencia en el transporte de pasajeros y mercancías que aumenten la competitividad nacional y regional.
- » Mejoras en la seguridad vial carretera y ferroviaria, reflejadas en la reducción de accidentes.
- » Apoyo a la innovación en la robusta industria automotriz mexicana y en las cadenas de valor del sector productivo.
- » Sostenibilidad ambiental aportando a la reducción de emisiones de GEI y material particulado en las actividades de movilidad ciudadana y desplazamiento de carga, beneficiando no solo al cumplimiento de metas climáticas sino de salud pública del Estado mexicano.

» Mayor sostenibilidad y seguridad energética en México.

Para alcanzar estos objetivos y sus cobeneficios, se proponen los siguientes lineamientos que comprenden tres líneas de acción estratégica:

- a. Acciones para la transformación
- b. Acciones para la integración
- c. Acciones para impulsar el desarrollo competitivo

La **Figura 2** muestra las tres líneas de acción estratégica soportadas por el objetivo de establecer condiciones macro en el panorama que propicien la transición hacia un transporte terrestre moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo.

Figura 2

Líneas de acción estratégicas del MRT-TT



Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del Mapa de Ruta debe darse alrededor de estas tres líneas de acción estratégica para promover la transición tecnológica, por lo que primero debe impulsarse la transformación del transporte terrestre hacia un régimen de futuro deseable. Luego, propender por la integración del transporte terrestre ferroviario, carretero e intermodal para lograr operaciones coordinadas, eficientes y competitivas.

Finalmente, se busca converger en acciones que impulsen el desarrollo competitivo no solo del transporte terrestre de México, sino de toda la economía y los sectores productivos que dependen de la logística y el transporte de pasajeros y mercancías en sus cadenas de valor.

An aerial photograph of a parking lot. A large red semi-truck is parked in the upper right. A yellow safety railing runs along the edge of a paved area. In the lower left, there is a concrete structure with a white door and some equipment. Several cars are parked in the lower right. The text is overlaid on a dark red semi-transparent rectangle in the center.

CAPÍTULO 1
SITUACIÓN
DEL TRANSPORTE
TERRESTRE
EN MÉXICO



Este capítulo dará una mirada a la situación del transporte terrestre en México para establecer una línea base sobre la cual comenzarán a realizarse las acciones propuestas en el Mapa de Ruta. Puede entenderse como el diagnóstico del estado actual del régimen sociotécnico del transporte terrestre en México.

Marco General

Es importante entender el marco general que compone al transporte terrestre en México, ya que esto dará la definición de los elementos que deben analizarse e intervenir, y hacia los cuales estarán enfocadas las acciones propuestas para la construcción del Mapa de Ruta.

En México, el transporte de carga y de pasajeros está compuesto por:

- » Transporte carretero
- » Transporte ferroviario
- » Transporte aéreo
- » Transporte marítimo
- » Transporte intermodal

En el ámbito del Plan Nacional de Desarrollo, se pretende estructurar un sistema nacional de **cadena intermodales**, combinando las formalmente existentes, mediante la adición de nuevos proyectos de transporte carretero, ferroviario y marítimo, para hacer más eficientes los procesos de distribución nacional y regional.

Además, se incorporan regiones potencialmente productivas de diversa índole, a través de nuevos centros de distribución y plataformas logísticas de valor agregado que permitan sentar las bases de un desarrollo regional más equilibrado.



Transporte Carretero



Transporte Ferroviario



Transporte Aéreo



Transporte Marítimo

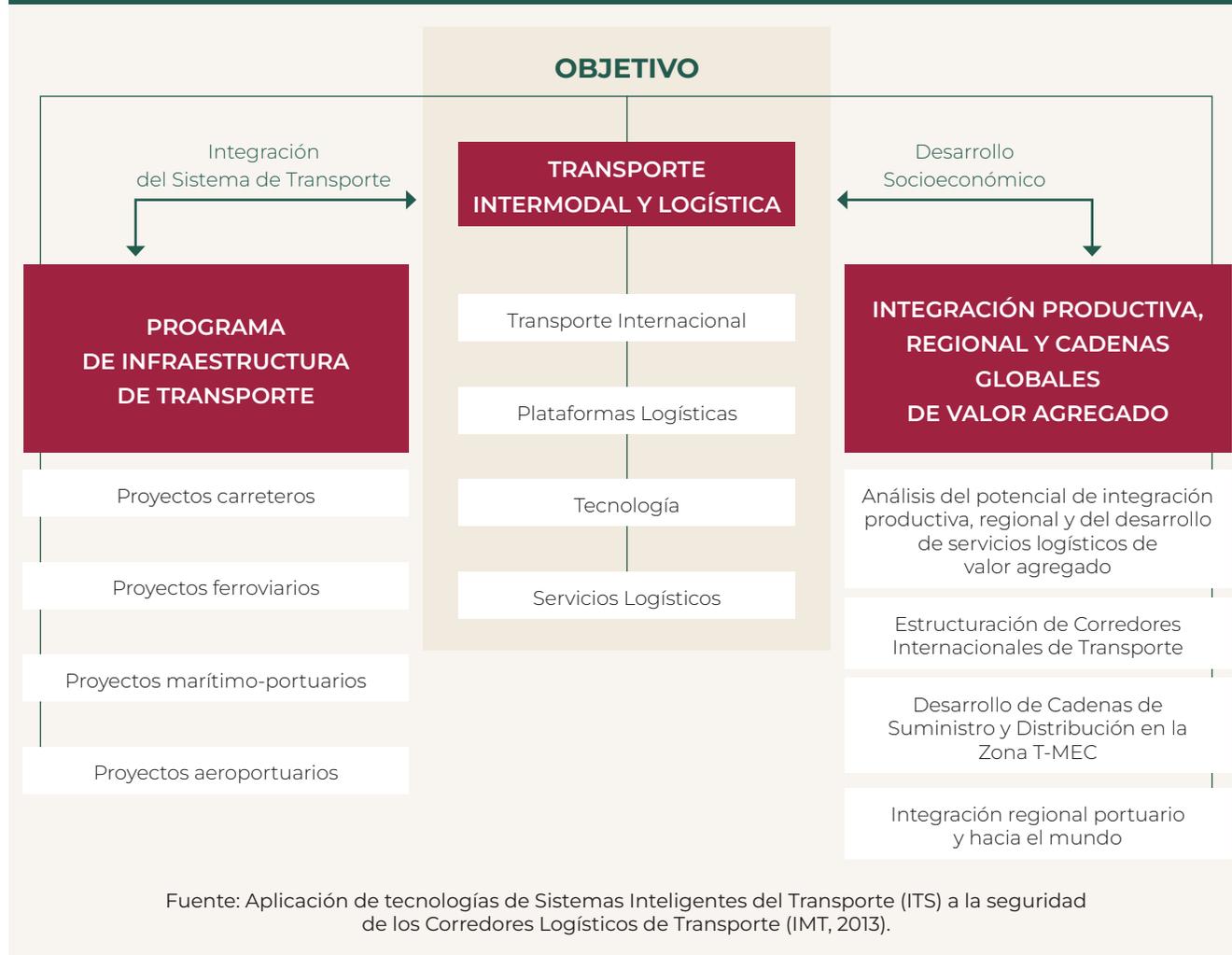


Transporte Intermodal

En este contexto, este documento tratará exclusivamente los medios de **transporte terrestre** y se enfocará en el autotransporte y en el transporte ferroviario, así como en su integración e intermodalidad.

Para lograr dicha integración el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en colaboración con otras instituciones, elaboraron el Plan Nacional Estratégico del Transporte, donde se señalan las acciones a considerar para tener una estrategia de logística del transporte.

Figura 3
Plan Nacional Estratégico de Transporte



El transporte terrestre es uno de los temas centrales en las agendas de desarrollo de diversos países, tanto desde el enfoque de pasajeros como al referido a la transportación de bienes y mercancías.

La mejora en el desplazamiento y en la calidad del entorno se han convertido en dos ejes centrales para brindar soluciones a los sistemas cada vez más complejos del traslado de personas y mercancías.

La importancia del sector transporte de carga radica en su contribución para dinamizar las economías locales y regionales, debido a que resulta un eslabón indispensable para las cadenas de valor de índole primario y secundario de la economía, que, sin duda, es un sector crítico para la cobertura de las necesidades de la población.

En 2020, de acuerdo con la SICT:



El autotransporte de carga es el sector más relevante, puesto que representó el 57% del total de movimiento de carga nacional (512,726 miles de toneladas).



El transporte marítimo implicó el 30% del total de movimiento de carga nacional (266,719 miles de toneladas).



El transporte ferroviario representó el 13% del total de movimiento de carga nacional (120,381 miles de toneladas).



El transporte aéreo aplicado a carga solo representó el 0.1% del total.

Ahora bien, en la transportación de pasajeros existe una presencia altamente dominante del transporte carretero con el 96% del total (2,277,000 de pasajeros), el modo aéreo contempla 2% (48,075 miles de pasajeros) y el ferroviario, un 1.3% (48,075 miles de pasajeros) según datos de la SICT (SICT, 2020).

Durante el año 2020, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la importación de mercancías se llevó a cabo a través de las fronteras terrestres, mientras que poco más de $\frac{1}{4}$ llegó a territorio nacional por puertos.



Por último, la industria automotriz mexicana es la séptima a nivel mundial en producción de vehículos y automóviles. Esta representa entre el 3% y 4% del Producto Interno Bruto (PIB) del país (sin contar la caída en 2021 de hasta 2.6% después de la pandemia por la COVID-19) y genera más de 9,3 millones de puestos de trabajo a nivel nacional.

El sector automotriz resulta de vital importancia ya que juega un papel estratégico en la transición tecnológica del transporte terrestre en México.



Por lo anterior, no solo debe esta industria alinearse a la transición tecnológica para impulsar el cambio tecnológico a nivel interno que requiere el autotransporte en México, sino que, como gran proveedor de vehículos en los mercados globales, debe prepararse para cumplir con las exigencias de la demanda en los años venideros.

En este sentido, los países han realizado compromisos para hacer una transición hacia vehículos de cero emisiones, mientras que los usuarios exigen nuevas y mejores tecnologías que sean eficientes en su operación.

Autotransporte

Infraestructura de carreteras

Una de las necesidades más importantes para mejorar la operación del autotransporte federal es el **fortalecimiento de la conectividad** entre las carreteras y autopistas concesionadas.

Una operación eficiente e independiente debe permitir la continuidad operativa al integrar varias vías de concesionarios en un solo corredor y otorgar opciones de ingreso en puertos, fronteras o corredores industriales, para poder detonar mejores costos competitivos e incrementar la competencia, mediante opciones a los usuarios.

A continuación, se presentan algunos datos clave sobre la infraestructura de carreteras en México.

Tabla 1 Datos clave sobre la infraestructura de carreteras	
Tipo de carretera	Longitud
Total de la Red Nacional Carretera	407,958 km
Autopistas de cuota	10,614 km
Carreteras libres de peaje	40,583 km
Total de caminos rurales y carreteras alimentadoras	356,761 km
Carreteras alimentadoras	133,698 km
Caminos rurales	154,409 km
Brechas	68,654 km

Fuente: *Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes* (SICT, 2020).

Durante el año 2021, se ejecutaron recursos para la construcción, conservación, supervisión y control técnico por poco más de 39 mil millones de pesos, con los que se continúa atendiendo la comunicación de los caminos para el traslado de bienes y servicios.

Para los 51,197 kilómetros de carreteras que se encuentran a cargo del gobierno federal se ha implementado, como una de las políticas prioritarias del Presidente de la República, la conservación de la red.

De esta forma, para el año 2021, el estado físico de la red obtuvo una calificación de 78% en estado bueno y regular, y se planea alcanzar la meta de 90% de carreteras en estado bueno o regular para el año 2024.

Como parte de esta política, es importante resaltar que se ha establecido un proceso de auscultación de toda la red con el fin de obtener la calificación de cada tramo, implementando los programas de conservación periódica y rutinaria que permitan llegar a la meta indicada para el año 2024.

El mantenimiento de la red busca garantizar condiciones de seguridad a los usuarios con el fin de reducir tiempos de traslado y abatir costos de transporte.

Todo esto se realiza con el objetivo de contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura de carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal. Dentro de las acciones realizadas en el año 2021 destacan las siguientes:

Mapa 1

Acciones realizadas en el año 2021

Construcción y modernización de 59.8 kilómetros de la red carretera federal que incluye:
Reconstrucción de 29 puentes a lo largo de la República Mexicana

Construcción y modernización de cinco autopistas concesionadas:

- Ecuandureo - La Piedad
- Libramiento de Ciudad Juárez
- Libramiento de Lagos de Moreno
- Ampliación de autopista Tuxtla Gutiérrez
- Entronque Río verde en San Luis Potosí

Construcción y modernización de seis obras de carreteras federales para el desarrollo de la Zona Sur - Sureste
(Chiapas, Tabasco, Guerrero, Oaxaca y Veracruz)

Obras importantes para el desarrollo del sur del país:

- Oaxaca - Istmo (Mitla - Tehuantepec)
- Oaxaca - Istmo, 12 km
- Barranca Larga - Ventanilla, 35.2 km



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2022 continuó la construcción de las autopistas. Resalta que la SICT trabaja en la implementación de programas que permitan apoyar la conservación de la infraestructura y la seguridad vial del autotransporte, a través de proyectos de pesaje dinámico (*weight in motion*), tecnología que permite determinar el peso de los vehículos circulantes sin interrumpir el flujo.

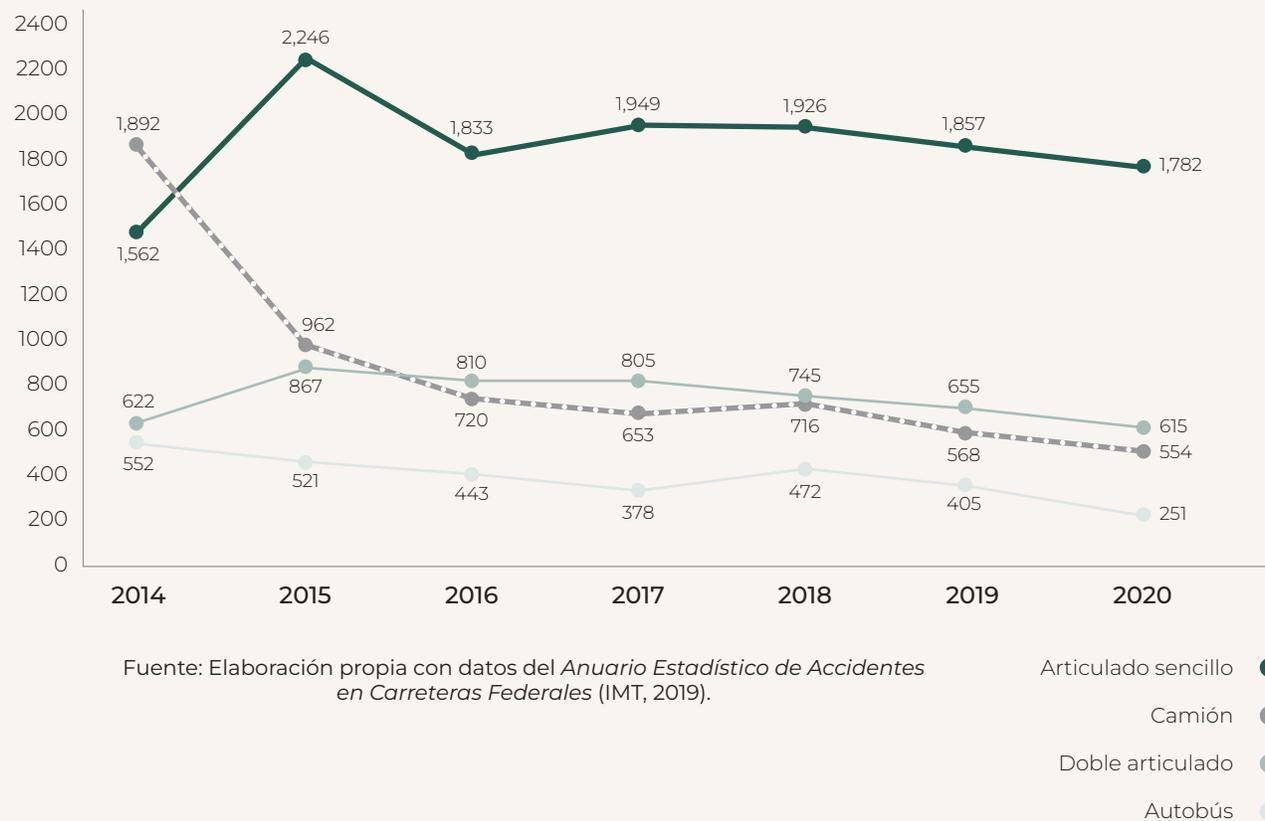
A través de esos sistemas podrán identificarse aquellas unidades y configuraciones vehiculares con exceso de peso o dimensiones, así como mantener las verificaciones de las condiciones físicomecánicas para incrementar la seguridad de tránsito y disminuir la accidentalidad.

Accidentalidad en carreteras federales

Del año 2014 al 2020, los accidentes con participación de un vehículo del servicio público federal o autotransporte federal sumaron un total de 27,361, siendo el articulado sencillo el de mayor participación (48%), le sigue el camión (22%), el doble articulado (19%) y el autobús con el 11%.

Figura 4

Accidentes con participación de vehículos del SPF 2014 - 2020



De acuerdo con datos emitidos por el IMT, durante el año 2020 se registró un total de 11,449 accidentes en carreteras federales, cuyos impactos derivaron en 2,722 personas fallecidas, 6,706 lesionadas y daños materiales por 1,113.66 millones de pesos.

Mapa 2

Las cinco entidades federativas con mayor número de colisiones

Las cinco entidades federativas con mayor número de colisiones son:



Las carreteras que registran el mayor número de colisiones vuelven a ser las mismas que en los últimos años:

- México - Querétaro (320)
- Puebla - Córdoba (291)
- Querétaro - San Luis Potosí (205)

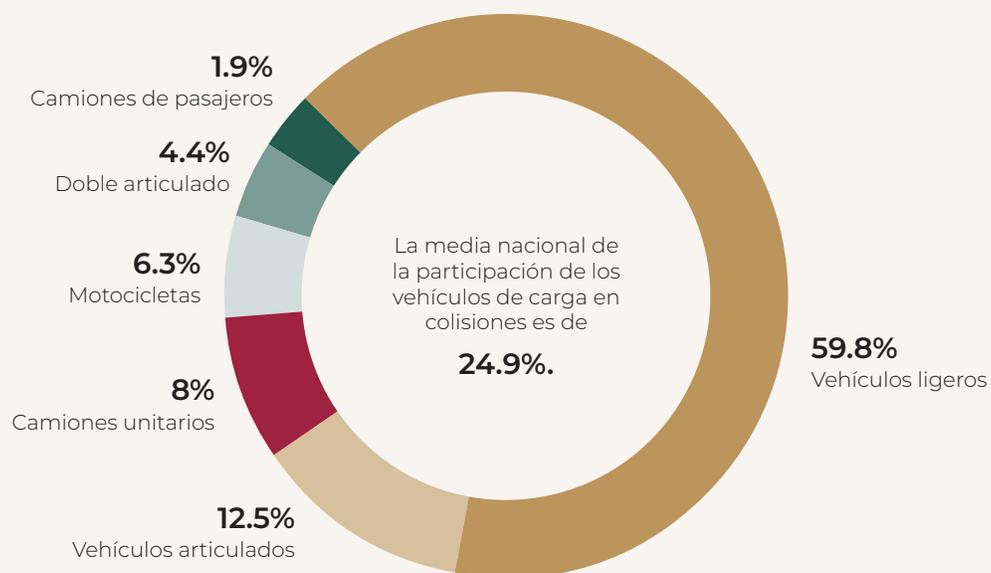
En el año 2020 se añade a la lista de los primeros lugares la autopista:

- México - Cuernavaca (239)

Fuente: Elaboración propia.

A nivel nacional, la mayor proporción de colisiones en el año 2020 fue en los meses de diciembre, agosto y octubre; el horario con mayor número de accidentes fue entre las 18 y 24 horas Instituto Mexicano del Transporte ([IMT], 2020). Del total de siniestros reportados en el año 2020, se tienen los siguientes porcentajes:

Figura 5
Siniestros reportados en el año 2020

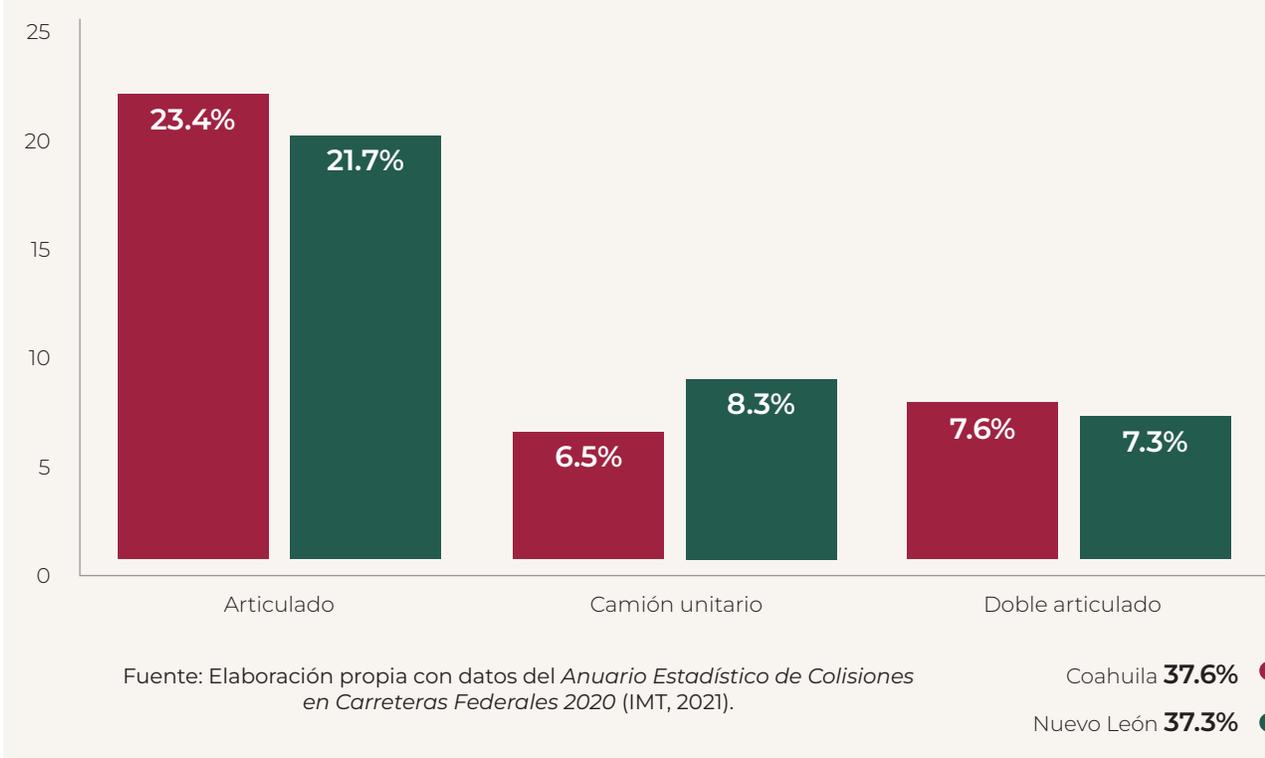


Fuente: Elaboración propia con datos del *Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2020* (IMT, 2021).

Sin embargo, para algunas entidades esta participación es mayor, por ejemplo:

Figura 6

Entidades con mayor participación en siniestros en el año 2020



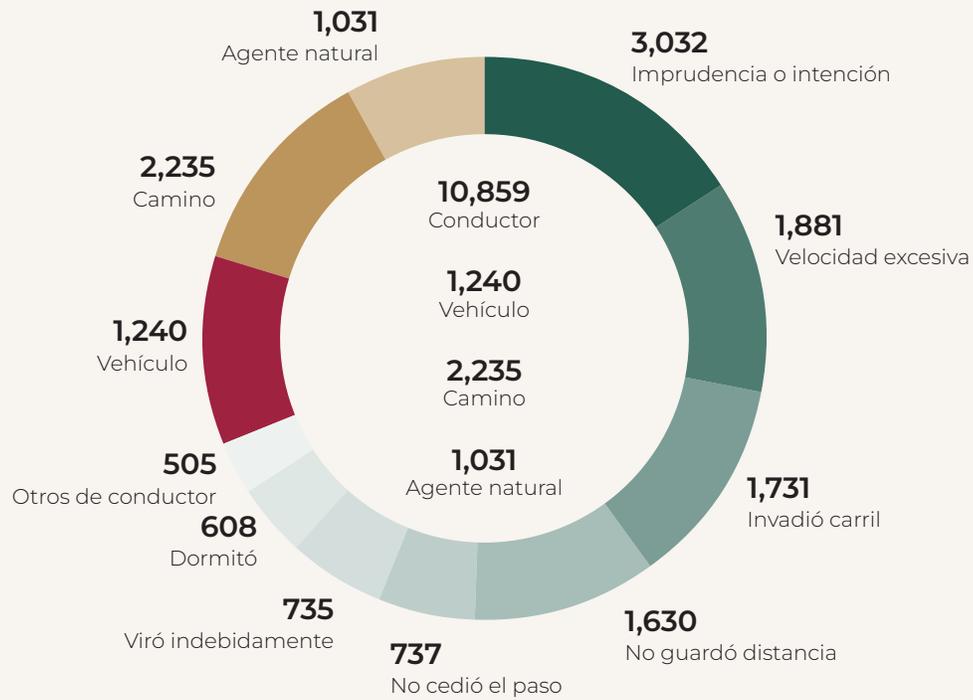
De los conductores de vehículos de carga y pasajeros que se vieron involucrados en alguna colisión, el 16% correspondió a un rango de edad entre 26 y 30 años (IMT, 2020). De la totalidad de colisiones, el 67% sucedió en carreteras libres y 33% en carreteras de cuota.

En el año 2020, el monto por daños materiales fue de 51,8 millones de dólares. Cabe mencionar que la siniestralidad en carretera ha disminuido si se compara con la década comprendida entre los años 2010 y 2020. En relación con dicha década, el número de colisiones disminuyó en 58.9%, así como el costo de daños materiales descendió en un 56.6% (IMT, 2020).

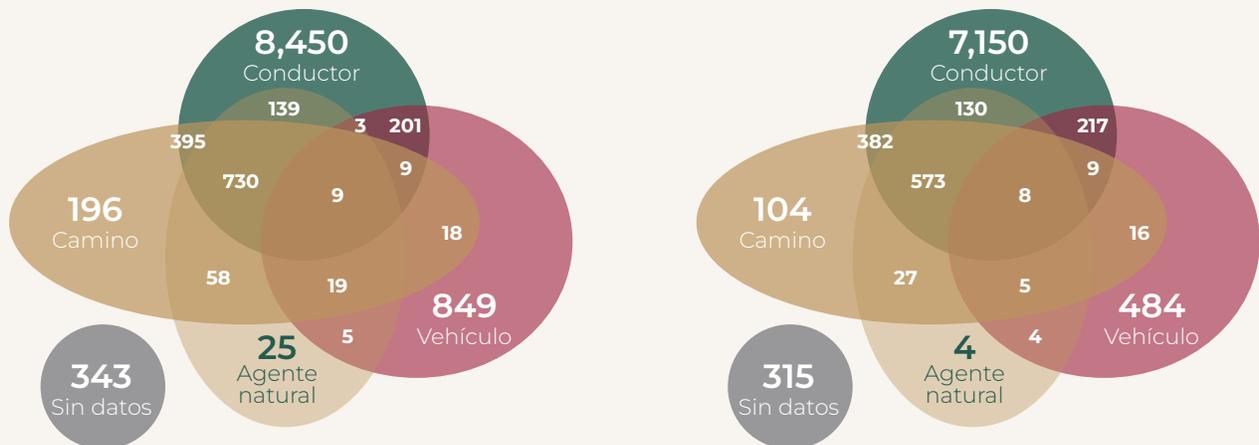
Las **Figuras 5 y 6** muestran con mayor detalle las causas y la combinación de factores asociados a la siniestralidad durante el año 2020, y la distribución de perjuicios y víctimas en dichos accidentes, respectivamente.

Figura 7

Distribución de causas y combinación de factores asociados a la siniestralidad 2020



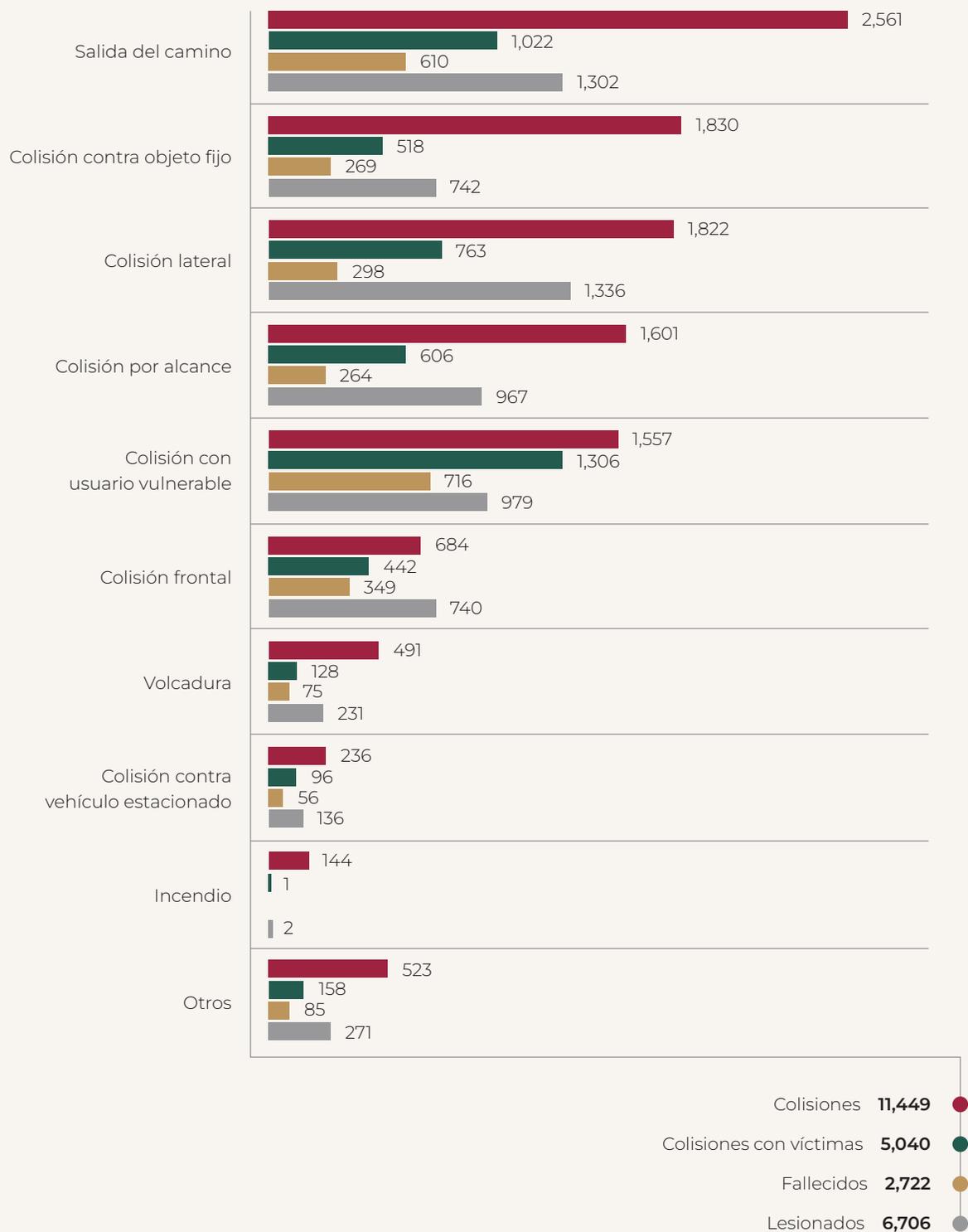
NACIONAL - TODOS LOS SINIESTROS



Fuente: Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2020 (IMT, 2021).

Figura 8

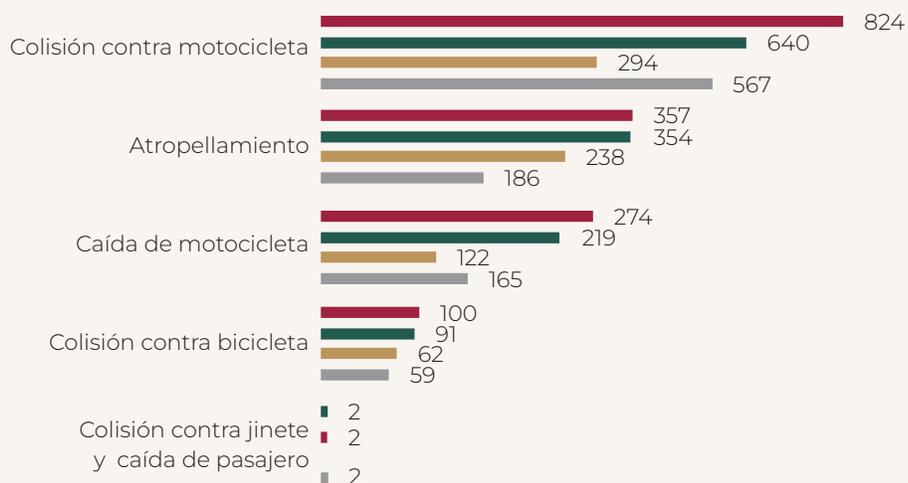
Distribución de percances y víctimas por tipo de colisión 2020



Fuente: Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2020 (IMT, 2021).

Figura 9

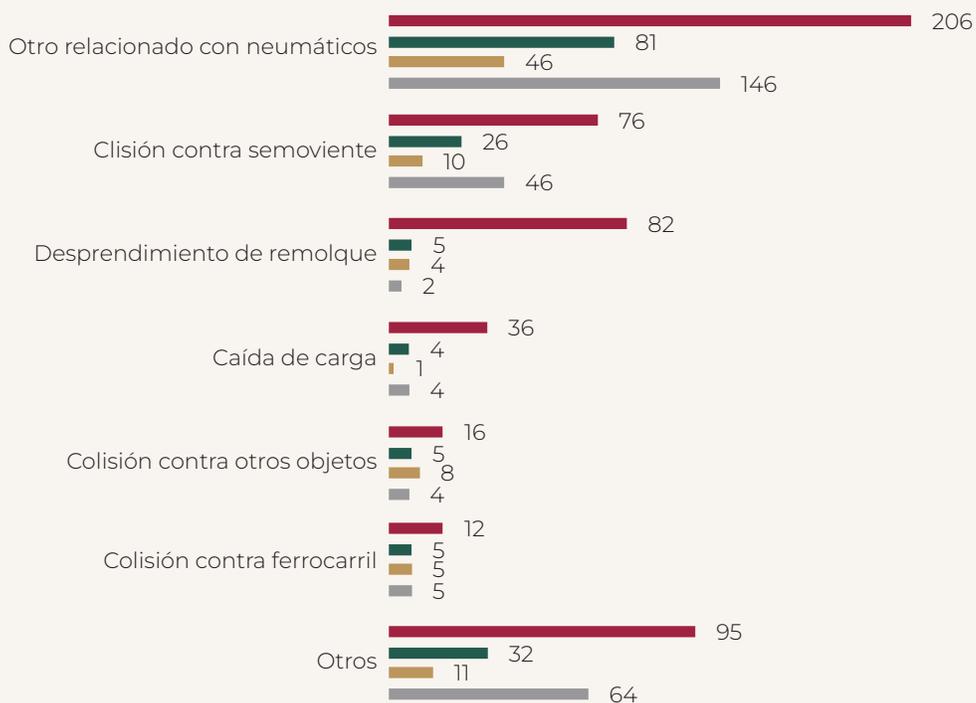
Colisión con usuario vulnerable



Fuente: Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2020 (IMT, 2021).

Figura 10

Otro tipo de colisión



Fuente: Anuario Estadístico de Colisiones en Carreteras Federales 2020 (IMT, 2021).

Vehículos de transporte de pasajeros

Respecto al autotransporte de pasajeros, este sector aportó 2.1% al PIB nacional durante el año 2019, la generación de empleos ascendió aproximadamente a 148,245 plazas, de las cuales 87% fueron cubiertas por hombres y 13% por mujeres (INEGI, 2019).

El autobús es el medio de transporte de pasajeros más importante en México, ya que moviliza al 81% de pasajeros, seguido del automóvil (13%), la camioneta (4%) y el minibús (2%).



Destaca que del segmento autobuses, en el año 2020, los pasajeros se movilizaron principalmente a través de la modalidad del servicio económico (72%), en servicio de primera se movilizó el 14%, mientras que en la vía de lujo, 2% (SICT, 2020). Del parque vehicular de autobuses en México, los cinco estados principales con mayor agrupación son:

Mapa 3

Top cinco de principales estados con parque vehicular de autobuses (agosto 2021)



Fuente: Estadística Básica del Autotransporte Federal, (SICT, 2021).

La tendencia de estructura de parque vehicular en cuanto a zonas es muy parecida entre el autotransporte de carga y el de pasajeros. Sin embargo, en este último no existe tanta concentración en los Estados, pues tiene una diversificación mayor de zonas que en el caso del de carga.

Los vehículos terrestres de pasajeros son propulsados en un 82% por diésel y 18% por gasolina. Cabe destacar que, en el campo del transporte de pasajeros, en algunos estados de la república se cuenta con unidades híbridas, como el caso de la Ciudad de México con 24 unidades, Quintana Roo con 59 y Guanajuato con 1 (SICT, 2021).

Figura 11

Parque vehicular motriz del autotransporte de pasajeros por tipo de combustible en 2020



Fuente: Estadística Básica del Autotransporte Federal (SICT, 2021).

Vehículos de transporte de carga y mercancías

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el sector autotransporte de carga cubre la demanda de al menos 101 de las 262 ramas de la economía nacional (36 del sector primario y 65 del sector terciario). Esto lo convierte en un **sector transversal** que forma parte de una proporción importante de las cadenas de valor que operan en la economía nacional.

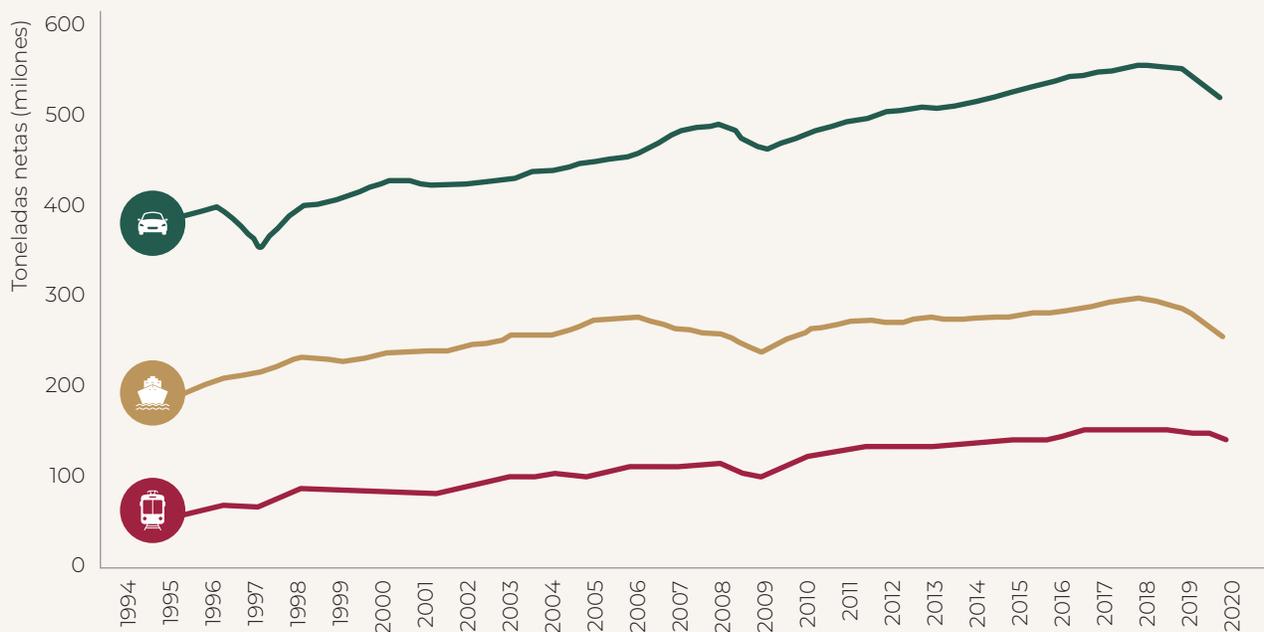
Su importancia es tal que, por sí solo, el sector generó en el año 2019 alrededor del 3.4% del PIB total y alrededor de 2 millones de nuevos puestos de trabajo remunerados, los cuales se ocuparon de la siguiente manera: 87% fueron cubiertos por hombres y 13%, por mujeres (INEGI, 2019).

A continuación, se presenta el histórico del movimiento de carga por modo de transporte en México, donde claramente domina el transporte carretero.



Figura 12

Histórico del movimiento de toneladas por modo de transporte en México



Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario (IMT, 2019).

- Carretero ●
- Ferroviario ●
- Marítimo ●

El autotransporte de carga a nivel nacional tiene dos categorías principales (SICT, 2020):

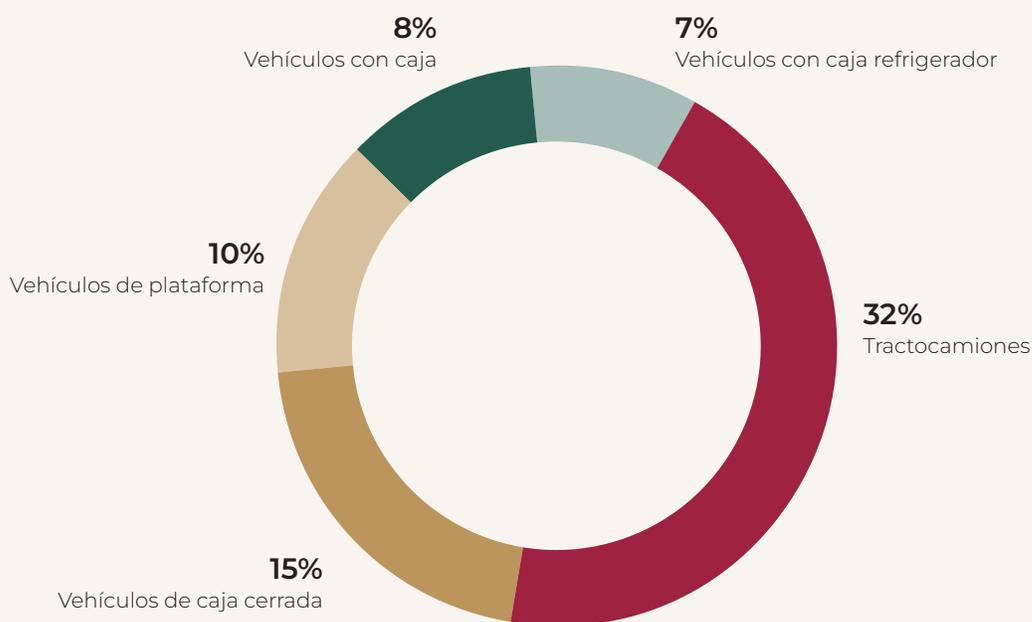
1. La movilización de carga general, que abarca 87% del total de la movilización.
2. La carga especializada (13%).

El segmento de carga especializada está dominado en un 81% por el transporte de materiales peligrosos, 11% de vehículos voluminosos, 5% automóviles sin rodar (conocidos como vehículos madrina) y el 3% de la carga especializada se refiere a fondos y valores.

Considerando esta distribución de carga, los cinco principales tipos de vehículos en el parque vehicular nacional se presentan en la **Figura 13**.

Figura 13

Principales tipos de vehículos en el parque vehicular nacional



Fuente: *Anuario Estadístico Ferroviario* (ARTF, 2020).

El vehículo con mayor trascendencia para transportar, tanto la carga general como la carga especializada, es el llamado T-3¹, que cuenta con tres ejes y al menos una rodada doble (SICT, 2020).

1 El T-3 se refiere a tractocamión de tres ejes (un eje sencillo frontal direccional y dos posteriores de tracción/carga en tándem). Es una unidad motriz a la que se enganchan unidades de arrastre tipo semirremolque.

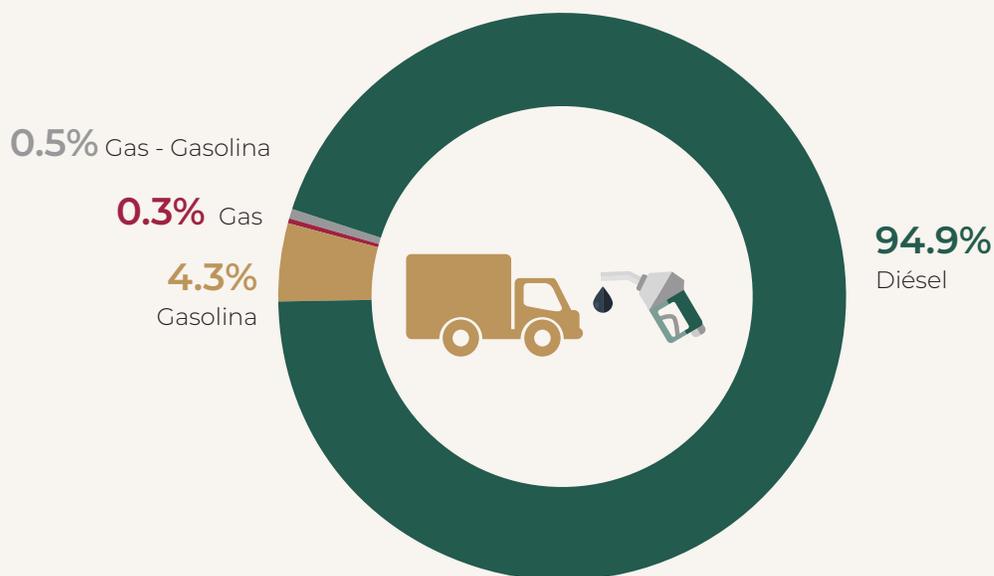
Para el año 2020, se tiene registrado el parque vehicular por tipo de combustible, donde puede verse que el diésel es uno de los combustibles más utilizados en el autotransporte de carga, representando un reto importante para el sector, en correspondencia con la necesidad global de reducción de emisiones en el transporte a través de la adopción de la movilidad sostenible.

Durante ese mismo año, únicamente el Estado de Guanajuato reportó la integración de unidades vehiculares de índole eléctrica, con un total de 21 unidades (impulsadas en buena medida por la operación del Clúster Logístico y de Movilidad de Guanajuato) (SICT, 2020).

A continuación, se presenta la distribución del parque vehicular del autotransporte de carga según el tipo de combustible utilizado en 2020:

Figura 14

Parque vehicular motriz del autotransporte de carga por tipo de combustible en 2020



Fuente: *Estadística Básica del Autotransporte Federal*, (SICT, 2021).

La DGAF estima que la antigüedad promedio del parque vehicular de transporte pesado en México es de 18.34 años, considerando carga y pasajeros.

En **Estados Unidos, principal socio comercial de México** en las exportaciones de vehículos pesados, la edad promedio del parque vehicular de transporte pesado es de 12.8 años, teniendo en cuenta lo reportado por los grupos de la industria de transporte pesado en EUA, ya que la Administración Federal para la Seguridad de los Transportistas (FMCSA) no compila estos datos.

En promedio, alrededor del 70% de los vehículos T3 (los más utilizados en el autotransporte) superan los 10 años de antigüedad.



Según la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF) el parque vehicular de carga de la República Mexicana es de 1,182,334 unidades, en donde tan solo seis estados albergan más del 50% de los vehículos, como se muestra en el siguiente mapa.

Mapa 4

Top seis de Estados en proporción de vehículos de carga (agosto 2021)



Fuente: Estadística Básica del Autotransporte Federal (SICT, 2021).

Adicionalmente a la información ya presentada, existen **consideraciones** a tener en cuenta respecto a la estructura de mercado de los vehículos pesados de transporte carretero:

EL ÁMBITO EMPRESARIAL

Es, sin lugar a duda, un potente generador de conocimientos y de innovaciones en el sector. Una mirada hacia sus contribuciones tecnológicas, así como a su propiedad intelectual, definitivamente lo convierte en un núcleo impulsor de innovación. No obstante, es importante considerar que los entornos innovadores no solo deben ser sostenidos por las empresas, es indispensable la contribución de los actores involucrados (stakeholders) para posibilitar la construcción de un sólido sistema de innovación que multiplique sus beneficios para todos los grupos de interés.



LA LOCALIZACIÓN ESTRATÉGICA DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN

Apoya en efectos competitivos al sector, por lo que, debe promoverse la consolidación de modelos regionales que favorezcan una mejor composición de costos, de movilización y de redes de proveeduría, modelos que resultan esenciales para el desempeño del sector de autotransporte y la industria automotriz en México.

LAS EXPORTACIONES

Representan un nicho crítico de oportunidad para los vehículos pesados. En el año 2013, Alemania era considerado el país número uno en exportaciones referentes al sector; actualmente, México ocupa esa posición (Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones [ANPACT], 2021). Sin embargo, un factor clave es mantener y propiciar políticas de comercio exterior que se conviertan en el hilo conductor para lograr un desempeño destacado, especialmente considerando que la producción de vehículos nacionales pesados depende en buena medida de la compra de insumos a países europeos, asiáticos e, incluso, del mercado estadounidense.



Transporte ferroviario

Infraestructura ferroviaria

México tiene una infraestructura ferroviaria de un total de 26,914 km de vías construidas, lo que contrasta notablemente con los más de 400,000 kilómetros de vías de autotransporte.

A continuación, se presentan algunos datos de la infraestructura ferroviaria en México:

Tabla 2 Datos de la infraestructura ferroviaria en México	
Tipo de vía ferroviaria	Característica
Total de infraestructura ferroviaria en México	26,914 km
Infraestructura fuera de operación	3,525 km
Total de infraestructura en operación	23,389 km
— Vías principales y secundarias concesionadas en operación	17,360 km
— Vías auxiliares en operación	4,474 km
— Vías particulares en operación	1,555 km
Caminos rurales	154,409 km
Brechas	68,654 km

Fuente: *Anuario Estadístico Ferroviario* (IMT, 2019).

Ferromex y KCSM son las empresas que dominan las concesiones de kilómetros de vía. En los últimos cuatro años, los kilómetros de vía total han crecido un 0.3%; por otra parte, se redujo la línea Coahuila Durango en un 23% entre los años 2018 y 2019.

El Sistema Ferroviario Mexicano (SFM) cuenta con 14 terminales permitidas para el transbordo y transvase de líquidos, mientras que se tienen 71 terminales para el servicio de carga. De estas últimas, Nuevo León tiene el 25.4% de las terminales, seguido del Estado de México con el 11.3%. Ambos tipos de terminales se encuentran registradas ante la Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal (DGDFM, 2021a, b).

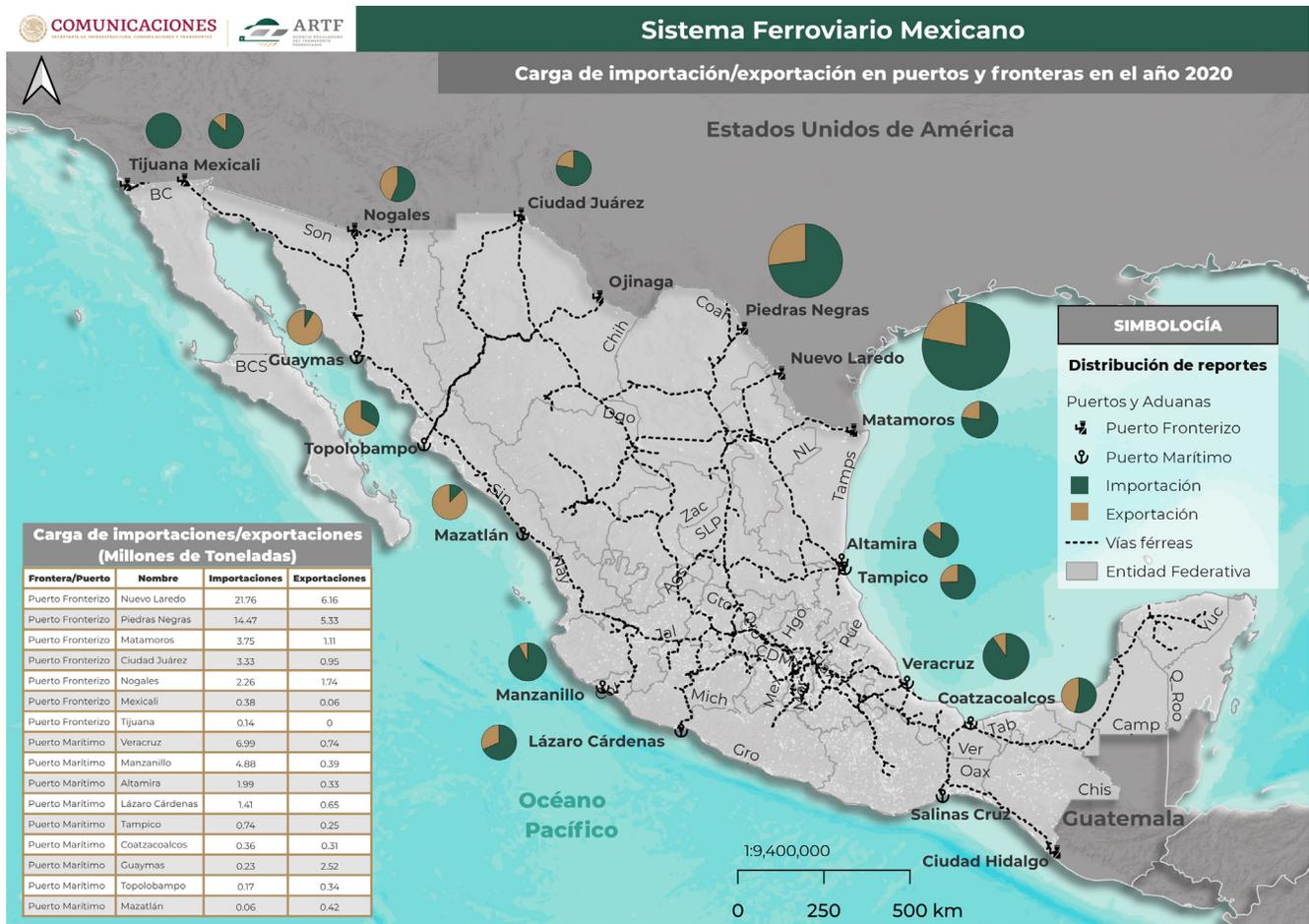
Actualmente el SFM cuenta con siete fronteras que incluyen a Nuevo Laredo, Piedras Negras, Nogales, Matamoros, Ciudad Juárez, Mexicali y Tijuana.

Adicionalmente, se tienen terminales en nueve puertos: Guaymas, Veracruz, Lázaro Cárdenas, Mazatlán, Manzanillo, Topolobampo, Altamira, Coatzacoalcos y Tampico.

El siguiente mapa muestra las fronteras y puertos que cuentan con terminales ferroviarios:

Mapa 5

Aduanas con movimiento de carga en comercio exterior 2020



Fuente: Elaborado con datos del Anuario Estadístico Ferroviario 2020 (ARTF, 2021).

El sistema de transporte ferroviario se utiliza principalmente para transporte de carga bajo un esquema de vía concesionada y una parte muy pequeña para transporte de pasajeros. En total, el servicio de pasajeros opera en una extensión de 817 km, contando con cinco servicios:

Mapa 6

Servicios del Sistema de Transporte Ferroviario



Fuente: Elaboración propia.

Considerando el periodo comprendido entre los años 1996 y 2019, la red ferroviaria de México no ha presentado un crecimiento, pues estima que solamente aumentó en alrededor de 300 kilómetros (Comisión Federal de Competencia Económica [COFECE] 2021).

De los 9,746 millones de pesos de inversión en infraestructura ferroviaria durante el año 2020, el 57% corresponde a inversión privada y el 43% restante a inversión pública. En el año 2019, los costos por mantenimiento de vía alcanzaron los 3,550 millones de pesos (56% del costo total), mientras que el monto total de operación fue de 6,306 millones de pesos.

A nivel nacional, durante el año 2020 se registró un total de 573 accidentes en cruces ferroviarios (OPR, 2021). El mantenimiento de la infraestructura ferroviaria nacional es uno de los retos más importantes que tiene el sector.

Transporte ferroviario de pasajeros

Durante el año 2020, el servicio ferroviario de transporte de pasajeros contó con 148 vehículos ferroviarios, los cuales tienen una capacidad total de 8,815 asientos. Durante este mismo periodo se transportó un total de 29,482,271 pasajeros y 491.2 pasajeros/kilómetro.

Del total de pasajeros transportados por ferrocarril en el año 2020, el tren suburbano movilizó al 99.4%, mientras el restante 0.6% correspondió a recorridos de trenes interurbanos y especiales turísticos.

Dentro de las especificaciones generales del material rodante, se pueden mencionar las siguientes características:



- Velocidad máxima comercial de 160 km/h
- Velocidad máxima en talleres y patios de 15 km/h
- Sistema de tracción dual
- Altura de piso único de 1.40 metros
- Configuración de cuatro coches con longitudes de 98.5 metros, si es una configuración de siete coches su longitud es de 169.96 metros
- Se definió una alimentación eléctrica de 25 kV (60 Hz)



Por otra parte, México cuenta con industria de manufactura de carros de arrastre, creada en el año 1952 con la constitución de la empresa Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril (CNFN).

En el año 1992, la CNFN fue vendida a la empresa Bombardier Transportation, esta realizó en su momento alianzas e inversiones conjuntas con otras empresas para la producción de material rodante y componentes. Bombardier Transportation fue recientemente adquirida por Alstom y tiene una planta de producción en Ciudad Sahagún.

Esta empresa ha suministrado cerca del 70% de los sistemas de transporte y material rodante que actualmente operan en México.

Sin embargo, para el caso del Tren Interurbano Toluca - México y la ampliación del Tren Suburbano en la ruta Lechería - Jaltocan - Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, el equipo ferroviario es importado.

Transporte ferroviario de carga y mercancías

El inventario del transporte ferroviario en el año 2020 correspondió a 32,581 unidades, de las cuales 96% son carros de carga y 4% locomotoras. Durante el 2020, este transporte movilizó 120 millones de toneladas de carga. A continuación, se presenta la distribución de dicha carga:

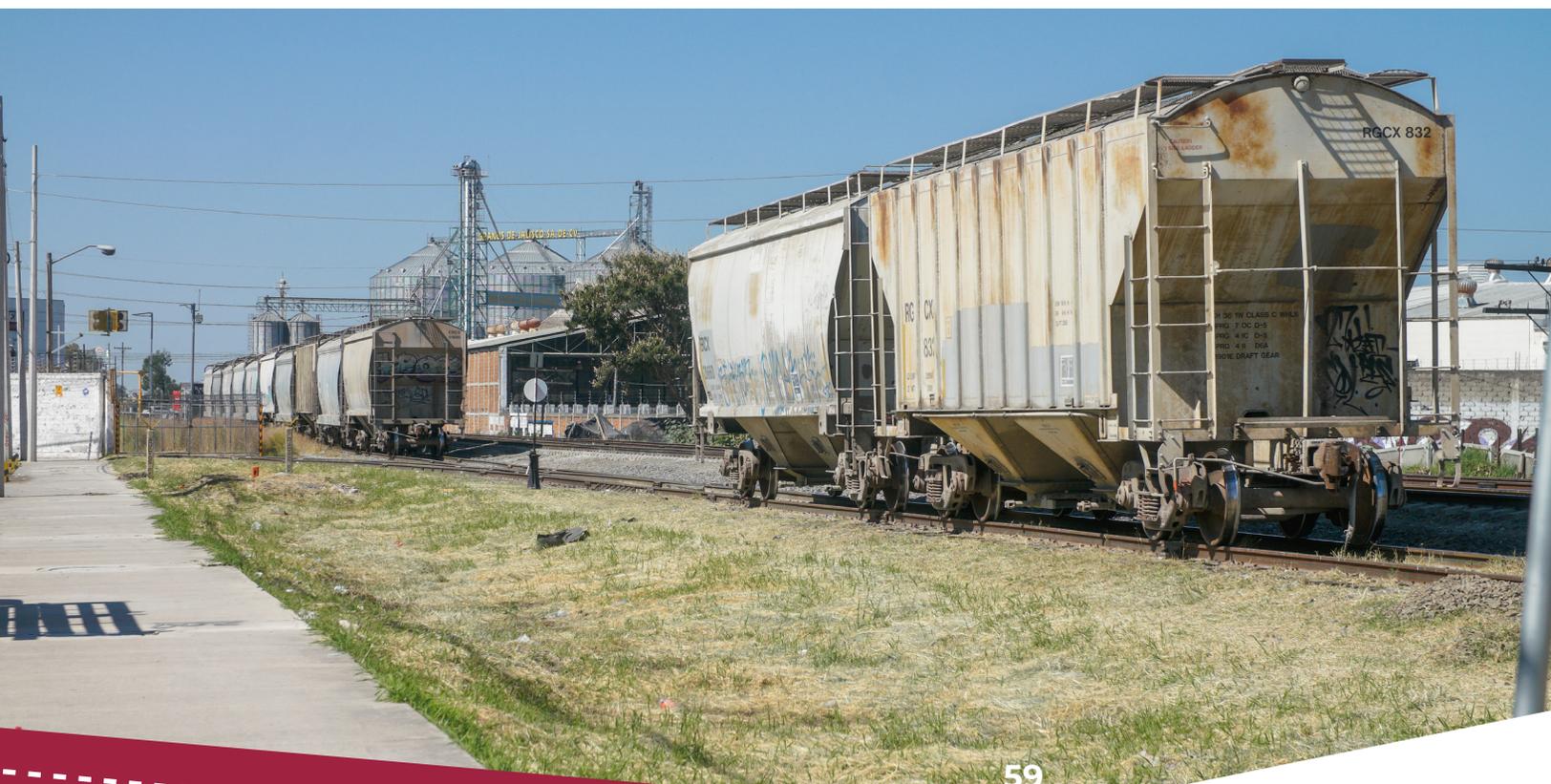
Tabla 3
Distribución de los tipos de carga en el transporte ferroviario

Tipo de carga	Participación en el total
Productos industriales (principalmente cemento)	48%
Productos agrícolas (principalmente maíz)	28%
Productos minerales (principalmente mineral de hierro)	12%
Petróleo y sus derivados (gasolina y diésel)	11%
Productos inorgánicos (principalmente arena sílice)	4%

Fuente: *Anuario Estadístico Ferroviario 2020* (ARTF, 2021).

El flujo del tráfico ferroviario durante el año 2020 presentó el mayor volumen de carga transportada en la línea que conecta al centro del país con la frontera terrestre en Nuevo Laredo, denominada línea B.

El puerto comercial terrestre de Nuevo Laredo, Tamaulipas, intercambió 27.92 millones toneladas de mercancías entre exportación (6.16 millones de toneladas netas) e importación (21.76 millones de toneladas netas).



A lo largo de este corredor resalta claramente la ciudad de Monterrey como centro logístico, al concentrar un tráfico de volumen de carga mayor a 30 millones de toneladas netas.

Por otro lado, la línea A, particularmente entre las estaciones de Chicalote y Torreón, concentró en el año 2020 el segundo mayor volumen de carga transportada en el país. De la carga transportada en ferrocarril durante el 2020, el 49% fue con fines de importación, 31% para el comercio interior y 20% para exportación (OPR, 2021).

A continuación, se presenta un mapa del tráfico de carga dentro del SFM en 2020:



Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario 2020 (ARTF, 2021).

En el transporte ferroviario un porcentaje del tráfico a nivel mundial se realiza con material rodante de tracción eléctrica; en México, la mayoría se cubre con trenes de tracción diésel que mantiene emisiones de carbono que resultan inferiores comparadas con las del autotransporte al analizar los volúmenes de carga y las distancias promedio transportadas.

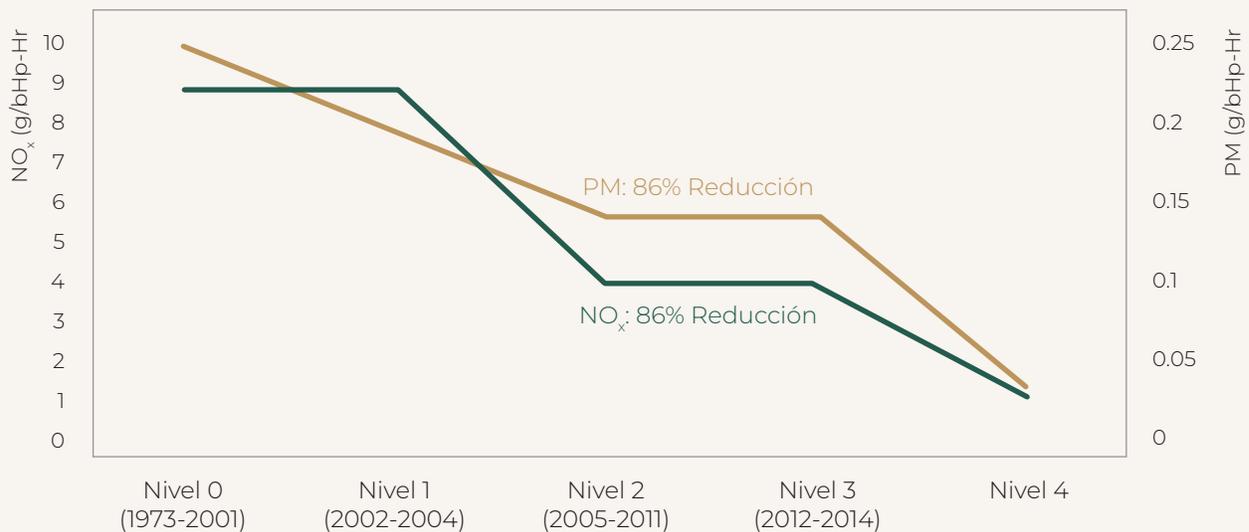
Además, en materia ferroviaria se ha buscado el desarrollo y la implementación de equipo tractivo que emita menos emisiones GEI, lo cual se ha logrado en parte gracias a las regulaciones que han surgido para tratar de reducirlas.

Estados Unidos, por ejemplo, cuenta con un apartado dentro de su Código de Regulaciones Federales (CFR, por sus siglas en inglés - *Code of Federal Regulations*) para el control de emisiones de los motores utilizados en transportes distintos a los usados en carreteras, estableciendo los niveles máximos permisibles de emisiones que estos pueden emitir, como es el caso para las locomotoras. Para ello, se desarrollaron cuatro niveles que dividen a las locomotoras por años de fabricación.

Tal como se observa en la siguiente figura, cada nivel establecido ha limitado aún más el máximo permisible en la emisión de gases de las locomotoras.

Figura 15

Clasificación de locomotoras por niveles y su relación con la emisión de GEI



Fuente: TIER 4 STANDARDS

La tendencia buscará reducir aún más las emisiones GEI en las locomotoras. En este sentido, el tres de noviembre del 2021, se aprobó en Estados Unidos el desarrollo de un nivel cinco, el cual restringirá aún más los límites máximos de emisiones de las locomotoras.

Operación del transporte terrestre, de la infraestructura multimodal y del intercambio logístico

A nivel internacional se utiliza el índice de desempeño logístico, el cual es uno de los índices más utilizados en el mundo para medir el rendimiento de la cadena logística.

Este indicador realiza un análisis comparativo entre países identificando las debilidades de las cadenas logísticas que puedan estar rezagando el desarrollo económico.

Actualmente, el Banco Mundial provee una métrica para calificar este índice en una escala de uno a cinco, tomando en cuenta variables como:

Eficiencia en el despacho de aduana, calidad de la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte, facilidad para acordar embarques a precios competitivos, calidad de los servicios logísticos, capacidad de seguimiento y rastreo de envíos, y frecuencia con la que los embarques llegan al consignatario en el tiempo programado. (BM, 2018).

En el año 2018, México obtuvo una calificación de 3.05 en el índice de desempeño logístico, situando al país en la posición número 51 entre 160 países.

Este índice contempla varias dimensiones como calidad de la infraestructura, donde México ocupa la posición 57 con una calificación de 2.85; mientras que en lo relacionado con competitividad y calidad obtuvo una puntuación de 3.02 ocupando la posición 52 del ranking.

La puntualidad fue el aspecto en donde más alto se calificó a México, con 3.53, situando al país en la posición número 49 en este rubro.

Otras dimensiones analizadas y calificadas son el tema de rastreo de paquetes y mercancía, envíos internacionales y aduanas. Todas estas tienen un impacto directo sobre el desarrollo, no solo de la infraestructura y la operación logística, sino también sobre la competitividad de las diferentes cadenas de valor que dependen del sector logístico (Arvis, y otros, 2018).

El índice Doing Business (DB) incorpora diez puntos que van dirigidos a la facilidad de hacer negocios en un panorama subnacional, regulando así las actividades empresariales, comparando y analizando la normatividad de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs).

Uno de los puntos de la evaluación mide el tiempo y el costo de la importación y exportación de mercancías, sin tomar en cuenta los aranceles (principalmente en el comercio marítimo), analizando cuatro fases del proceso, como se muestra en la **Figura 16**.

Figura 16

Fases del proceso de importación y exportación de mercancías



Fuente: Elaboración propia.

Analizando la estructura logística del país, se considera que una de las principales limitaciones para el crecimiento obedece a **elevados costos logísticos**.

Si bien en los últimos años han existido inversiones en materia de infraestructura y transporte, los costos en materia logística han seguido al alza, esto puede atribuirse a retos en cuanto a seguridad, marcos regulatorios propicios y la misma eficiencia de la infraestructura logística (Consejo Coordinador Empresarial [CCE] - Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC] 2018).

Si se realiza un comparativo de los costos logísticos del país como proporción del PIB, estos ascendieron al 22.7%, mientras que en otros países resulta menor la proporción. Por ejemplo, en Brasil equivalen a 19.7%; India, 18.5%; Argentina, 17.8%; China, 12.5%, y Estados Unidos, 8.3%. Esta situación, por ende, impacta directamente en la competitividad del país (CCE-CMIC, 2018).

Aun cuando hay muchos retos por enfrentar y superar para tener un sistema logístico e intermodal competitivo, México cuenta con muchas ventajas de cara al comercio internacional. Algunas de estas son:

- Ubicación geográfica estratégica
- Mercado interno de un tamaño importante
- Acceso a mercados globales
- Alto potencial del capital humano (BM, 2018)

Debe considerarse también el hecho de que México tiene tratados comerciales con 45 países y cuenta con 3,142 km de frontera con Estados Unidos, lo que ofrece la puerta de entrada al mercado más grande del mundo.

De igual manera, México cuenta con 11,500 km de litorales que le dan acceso a puertos en Asia, Europa y Sudamérica (Redes y Enlaces en Comunicación, 2014).

En temas logísticos, los procesos de innovación tienen lugar con la incorporación de mejoras significativas y elementos novedosos aplicados directamente a los modelos de negocio.

Es un ecosistema en el que se está migrando hacia una digitalización de las plataformas que apunta a tendencias en la optimización de rutas, plataformas independientes entre la logística y la operación, desarrollo de capacidades para la optimización de costos, conocimiento profundo de las cadenas de valor con las que se trabaja en conjunto y tercerización de tareas de proveeduría para hacer más eficientes los procesos.

Uno de los hitos más representativos obedece al desarrollo de un Sistema Nacional de Plataformas Logísticas, que tuvo como punto de partida un estudio desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en el que se detectó dicha necesidad.

El proyecto consiste en crear 85 plataformas logísticas en los principales polos de producción y consumo del país. Aunado a ello, como una estrategia para fomentar un crecimiento más integral y acelerado, se han implementado al menos tres clústeres que resultan clave para el sector:

- » Clúster de Logística de San Luis Potosí
- » Clúster para la innovación logística de Querétaro
- » Clúster de Movilidad y Logística de Guanajuato

Estas redes de conocimiento, sin duda, brindan un espacio en el que además de generar conocimientos y otro tipo de activos intangibles, se prioriza el desarrollo tecnológico y, por lo tanto, las curvas de aprendizaje se ven favorecidas en vías de buscar una movilidad sostenible para el país. Será relevante dar seguimiento a la creación y comportamiento de clústeres en el país que se ocupan de este sector.



Si bien el sector de transporte terrestre y su componente logístico están sujetos a diversos retos, se han identificado algunos bloques clave sobre los cuales debe trabajarse durante la transición tecnológica propuesta y hacia los cuales se han orientado las acciones estratégicas presentadas en el Capítulo 3 del presente documento. Estos son:

Figura 17

Bloques clave para la transición tecnológica

CAMBIO TECNOLÓGICO



Una de las reflexiones que conlleva el cambio tecnológico en el transporte terrestre es que la tecnología y sus avances, por más eficientes que resulten, necesitan operar en sistemas que prioricen la modernización de infraestructura, las políticas públicas y el financiamiento para facilitar el entorno de innovación. De otra forma, el cambio tecnológico sería lento, poco productivo y no contribuiría a la generación de impactos sociales positivos que la automatización trae consigo.

SEGURIDAD Y PROTECCIÓN



La seguridad y la protección en toda su extensión, incluyendo esquemas referidos a la seguridad vial y laboral. Sin duda alguna tanto las tecnologías blandas (la generación y transmisión de conocimientos) como las duras (sistemas tecnológicos como la telemetría o la aerodinámica) resultan aliadas clave para estos procesos.

ACCESO EQUITATIVO



Profundizar en acciones para lograr un acceso equitativo en temas de equidad laboral, así como equidad de acceso en la movilidad.

TRANSPORTE TERRESTRE SOSTENIBLE



Es imprescindible abonar para un transporte terrestre sostenible desde dos frentes importantes: el primero, que involucra a los combustibles y su migración hacia una eficiencia energética, y el segundo, referido a la sostenibilidad de los materiales de empaque y embalaje.



CAPÍTULO 2

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN EL TRANSPORTE



Este capítulo busca recopilar una serie de elementos de innovación tecnológica que forman el nicho tecnológico descrito en la perspectiva multinivel, el cual recoge aquellas tecnologías e iniciativas de innovación que podrían tener una aplicación potencial en el régimen sociotécnico del transporte terrestre al generarse condiciones habilitantes y ventanas de oportunidad desde el nivel de panorama.

En la actualidad, la implementación de nuevas tecnologías es necesaria en los distintos modos de transporte para resolver la necesidad de transportar personas y mercancías de manera eficiente, segura y sostenible. Particularmente, las tendencias de los avances tecnológicos, que se han observado en el ecosistema tecnológico para el transporte carretero y ferroviario, pueden agruparse en tres rubros:

Figura 18

Tendencias tecnológicas del transporte terrestre



Fuente: Elaboración propia.

Estos rubros impactan en el desarrollo y operación del transporte terrestre en cuatro dimensiones principales:



La mejora tecnológica en los vehículos de carga y pasajeros responde a la necesidad de lograr una mayor eficiencia en función de la cantidad de energía que el transporte consume por unidad de distancia recorrida y el costo del desplazamiento de carga o pasajero.

La mayoría de las propuestas tecnológicas hace énfasis en sus diseños, así como en los materiales de fabricación, sistemas de propulsión y en la eficiencia energética, principalmente. Las tecnologías de propulsión y eficiencia energética dan cauce a las tecnologías de los motores de propulsión interna, a los vehículos híbridos y a la electromovilidad.

Los desarrollos tecnológicos, enfocados en la conducción, el control y mantenimiento de los vehículos cobran relevancia al replantear la forma de guiar a los vehículos, ya que los operadores reciben más información del estado del camino, el entorno en el que transitan, el estado funcional del vehículo, así como recomendaciones en los modos de conducción.

Dentro de este tipo de desarrollos también se identifica una tendencia relevante en los sistemas de asistencia al manejo, que tiende a evolucionar a la conducción autónoma y remota de los vehículos.

Por su parte, la infraestructura de vías complementa y da soporte para que los vehículos puedan desplazarse más eficientemente a sus destinos. La renovación y evolución de dicha infraestructura se logra poniendo especial atención a los materiales utilizados en la construcción de carreteras y vías férreas, en el desarrollo de sistemas de señalización que orientan la ruta y en los riesgos del entorno a los que pueden enfrentarse los vehículos.

En este sentido, los avances en la electrónica y los sistemas computarizados abren campos de acción científicos y tecnológicos transversales que impulsan la digitalización de actividades que eran manuales. El incremento exponencial de la capacidad de ejecución de cálculos y operaciones complejas en tiempos cada vez más cortos, ha impulsado el desarrollo de:

- Sistemas mecatrónicos
- *Big Data*
- Inteligencia artificial (IA)
- Aprendizaje de máquinas (MA, por sus siglas en inglés - *Machine Learning*)
- Sistemas embebidos
- Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés - *Internet of Things*)



Estas tendencias están transformando la relación de los vehículos, la infraestructura y la operación de estos.

A continuación, se presenta un recuento de las innovaciones y avances tecnológicos para la modernización de vehículos, infraestructura, operación y logística.

Figura 19

Relación que tienen las tendencias tecnológicas con los pilares descritos del transporte terrestre

		TENDENCIAS TECNOLÓGICAS												
Pilares del transporte terrestre		La cibernética de las operaciones				Vehículos automatizados y robóticos				Tecnologías de la alimentación				
Vehículos		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Infraestructura		✓		✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓		✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Operación		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓					
		✓			✓	✓	✓	✓						
Logística		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					

	Inteligencia Artificial		Automatización condicional		Tecnologías híbridas
	Blockchain		Alta automatización		Tecnologías de hidrógeno
	Internet de las cosas (IoT)		Automatización completa		Eficiencia energética fuera del motor
	Big Data		Platooning		Tecnologías en materiales de fabricación
	Conducción asistida		Tecnologías combustión interna		Pilar de transporte terrestre impactado
	Automatización parcial		Tecnologías de electromovilidad		

Fuente: Elaboración propia.

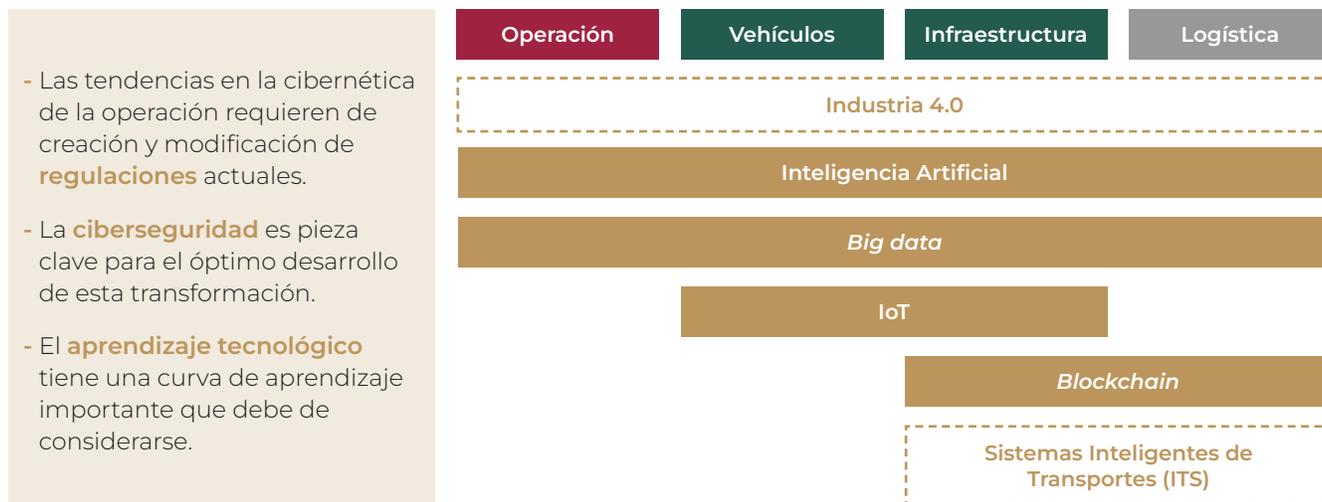
En la **Figura 19** puede observarse que existen tres tendencias tecnológicas específicas que impactan las cuatro dimensiones del transporte terrestre: la cibernética de las operaciones, los vehículos automatizados y robóticos, y las tecnologías de alimentación y eficiencia energética.

Estas tendencias tecnológicas están impulsadas por diferentes factores según el Banco Mundial, entre los que destacan (Muzira & Peralta, 2018):

- » La hiperconectividad digital: estos son avances de la tecnología 3G a la 5G, iniciativas gratuitas a través de internet, expansión del acceso a internet, incluso en lugares remotos, etcétera.
- » El auge de la economía colaborativa (transporte compartido), la electrificación y la automatización.
- » Herramientas sofisticadas de recopilación de datos, técnicas de análisis avanzadas, aprendizaje automático, inteligencia artificial, y el IoT.
- » Mayores presiones para reducir la huella de carbono del transporte en vista del cambio climático.
- » Las tendencias socioeconómicas y geográficas, entre ellas, el alza de los sueldos y el aumento de la urbanización y de la congestión, así como el envejecimiento de la población.
- » La existencia de condiciones propicias en el sector: la capacidad de las empresas tecnológicas de acceder a volúmenes considerables de capital, al conocimiento y a la tecnología crea condiciones adecuadas para la innovación.

Las siguientes secciones buscan ahondar sobre las tres tendencias tecnológicas principales que pueden influir en la transición tecnológica del transporte terrestre.

Cibernética de las operaciones



La adaptación del transporte terrestre al nuevo entorno tecnológico ha significado un gran cambio tanto para mejorar el nivel de servicio como para el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés - *Intelligent Transportation Systems*), tienen el objetivo de mejorar la seguridad y eficiencia del transporte terrestre, ya sea carretero o ferroviario. De este modo, se facilita la gestión, el seguimiento y el control para los responsables de la operación y desarrollo del transporte terrestre.

Estos ITS se han visto fuertemente influenciados por **cuatro tendencias tecnológicas**.

Primera tendencia: El Internet de las cosas

El Internet de las cosas integra un ecosistema compuesto por dispositivos inteligentes, el cual se verá grandemente beneficiado por la implementación de la red 5G y la incorporación de antenas de transmisión de datos a lo largo de la infraestructura carretera y ferroviaria para la conexión con los vehículos que transitan en ella.

La información masiva que se gestiona en la implementación del IoT también puede provenir de los teléfonos móviles y las pantallas incorporadas a los vehículos que tienen integrados registros de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés - *Global Positioning System*) ofreciendo su ubicación en tiempo real de forma gráfica, así como la visualización de rutas alternativas, entre otras cualidades.

El IoT tiene un gran impacto en la confiabilidad y seguridad de la infraestructura de transporte terrestre. Es por ello que se han desarrollado sensores de IoT inalámbricos para el monitoreo de seguridad automatizado y la predicción de fallas en los diferentes vehículos.

Lo que permite a los operadores de los sistemas de transporte reducir costos de mantenimiento al implementar estrategias de monitoreo y mantenimiento predictivo con la detección temprana de posibles fallas.



Además, el análisis avanzado habilitado para IoT posibilita a los operadores de sistemas de transporte implementar soluciones basadas en datos para mejorar el control y gestión de las flotas de autotransporte, ferroviarias, de carga pesada, transporte público, última milla, entre otras (*StartUs Insights*, 2021).

La implementación masiva de IoT en la 5G proporcionará nuevas formas de monitorear vehículos e infraestructura, ayudando a conectar a los vehículos y puntos estratégicos de operación de infraestructura a las redes de comunicación. Esto se verá reflejado en la aceleración de la digitalización del transporte terrestre, logrando una serie de nuevas e interesantes aplicaciones, incluidos los vehículos autónomos.

Segunda tendencia: *Big Data*

Los millones de registros e información detallada que proviene del IoT es tan relevante que lleva a la **segunda tendencia** la cual es llamada ***Big Data***, esta tecnología es la capacidad de almacenar, manipular, traducir y gestionar un gran volumen de información que se actualiza de manera constante y realizar cálculos más precisos en menor tiempo.

Tanto las carreteras, las vías férreas, el entorno, el clima, los vehículos, la mercancía, los pasajeros y los conductores generan la información detallada necesaria que requieren los ITS para su correcto funcionamiento.

Poder administrar esta gran cantidad de información y traducirla en datos para la toma de decisiones en la gestión y operación de sistemas de transporte será un avance hacia la transición de un transporte terrestre más seguro, eficiente, confiable y competitivo.

Con el poder del uso del *Big Data* en una plataforma analítica en la nube, pueden aprovecharse los conocimientos y las estrategias basadas en datos para ahorrar costos y aumentar la eficiencia. Como resultado, se impulsa el desarrollo de los ITS (CloudMoyo, 2020). La inversión principal del *Big Data* radica en las supercomputadoras, pero trae muchos beneficios que han cambiado de forma radical la manera de operar y tomar decisiones.

Tercera tendencia: Inteligencia Artificial (IA)

Tanto el IoT como el *Big Data* tienen una relación muy estrecha que da pauta a **la tercera tendencia que es la inteligencia artificial**, la cual es un conjunto de algoritmos que semejan capacidades y habilidades inteligentes de los seres humanos.

Existen más 30 países que están desarrollando estrategias nacionales basadas en la IA. Estados Unidos y China tienen una delantera

considerable de acuerdo con la inversión en investigación y desarrollo, además de la adquisición de supercomputadoras que los ha llevado a ocupar esos lugares (Information Technology and Innovation Foundation [ITIF] 2021).

La IA se encuentra en numerosas aplicaciones dentro del transporte, abarca la gestión de activos, el mantenimiento predictivo y la notificación de emergencias. Los algoritmos de aprendizaje profundo y las redes neuronales ayudan a optimizar la programación de flotas y minimizar los retrasos. Además, los sistemas avanzados de información para pasajeros mejoran los servicios de transporte y aumentan la satisfacción de los pasajeros.

La toma de decisiones de manera inteligente y la optimización de procesos para ejecutar operaciones automáticas son tendencia desde hace unos años. La IA ha ganado terreno al realizar análisis predictivos y utilizar datos disponibles.

La tendencia de las aplicaciones de IA en el transporte carretero y ferroviario se concentra principalmente en las aplicaciones de la **Figura 20**.

Figura 20

Tendencia de las aplicaciones de IA en el transporte carretero y ferroviario





La implementación de la IA que ha dado pauta a la existencia y mejora de los ITS tiene un impacto considerable para el transporte terrestre. Uno de estos impactos se da en la infraestructura vial, la cual se ha visto beneficiada, en términos del mantenimiento preventivo, dado que el procesamiento de información a través de los sistemas de detección de incidentes permite priorizar y analizar los costos de las reparaciones.

Por otro lado, se han abierto nuevas rutas gracias al análisis de imágenes y estudios de terrenos lo que ha beneficiado a la ampliación de esta red.

En referencia a la operación de transporte carretero, se ha incrementado la seguridad de los vehículos de carga, ya que en todo momento puede conocerse su ubicación y mantener un control de entradas y salidas de los vehículos, volviéndose cada vez más eficientes, además del monitoreo de pago de peajes.

En la infraestructura del transporte ferroviario, la detección temprana del desgaste de túneles, el estado de salud de las vías y la detección de algún bloqueo en las vías resultan ser sin duda un impacto a favor de la implementación de la IA.

Cuarta tendencia: *Blockchain*

En los últimos años el *Blockchain* ha tomado un papel relevante dado que es una tecnología emergente con un potencial para transformar las operaciones comerciales, registrar transacciones, mostrar qué está sucediendo con los activos y crear un sistema transparente y eficiente para administrar todos los documentos involucrados en el proceso logístico.

El *Blockchain* es una Tecnología de Contabilidad Distribuida (DLT, por sus siglas en inglés - *Distributed Ledger Technology*) que permite descentralizar la información de la ejecución del registro y uso de datos. Esta información es almacenada de forma descentralizada de manera uniforme, generando su consenso y replicación en todos los nodos. De esta forma, se garantiza seguridad y transparencia en las transacciones.

Los procesos de logística del transporte terrestre tocan a un actor primordial que es el operador, quien, en combinación con el *Blockchain*, ha permitido el surgimiento de aplicaciones que, a través de una rama de las matemáticas llamada criptografía, ayudan a monitorear el historial de desempeño de los operadores y otros proveedores.

Los contratos inteligentes son un enorme ahorro de tiempo y dinero. Mejora la seguridad en la cadena de suministro, incluida la reducción de fraudes, cuellos de botella y errores, la certificación de terceros y una mayor eficiencia.

Adicionalmente, el uso de la tecnología telemétrica aplicada al autotransporte representa un hito, especialmente en el ámbito de la operación.

La telemetría consiste en un sistema automatizado, que permite la recopilación de datos a distancia.

Ante ello, se han firmado convenios entre Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR) y la empresa Navistar para desarrollar proyectos relacionados con el desarrollo de esta tecnología (Cámara Nacional del Autotransporte de Carga [CANACAR], Agenda Económica del Autotransporte de Carga, 2019).

Asimismo, la empresa Teletrac Navman ha lanzado el proyecto de telemetría TN360 que, mediante el IoT y los datos encriptados, muestra de forma precisa, la operación y su desempeño, así como anomalías de la misma (Teletrac, 2021).

A corto plazo el medio de comunicación y digitalización será a través del Modelado de Información de Construcción (BIM, por sus siglas en inglés - *Building Information Modeling*), el cual es un sistema de gestión de obras de construcción basado en el uso de un modelo tridimensional virtual relacionado con bases de datos.

La tecnología BIM participa a lo largo del ciclo de vida de la planificación, diseño, construcción, uso, mantenimiento y deconstrucción en los campos de la edificación y la ingeniería civil. Esta plataforma también concentrará la información generada por verificaciones y reportes de seguridad.

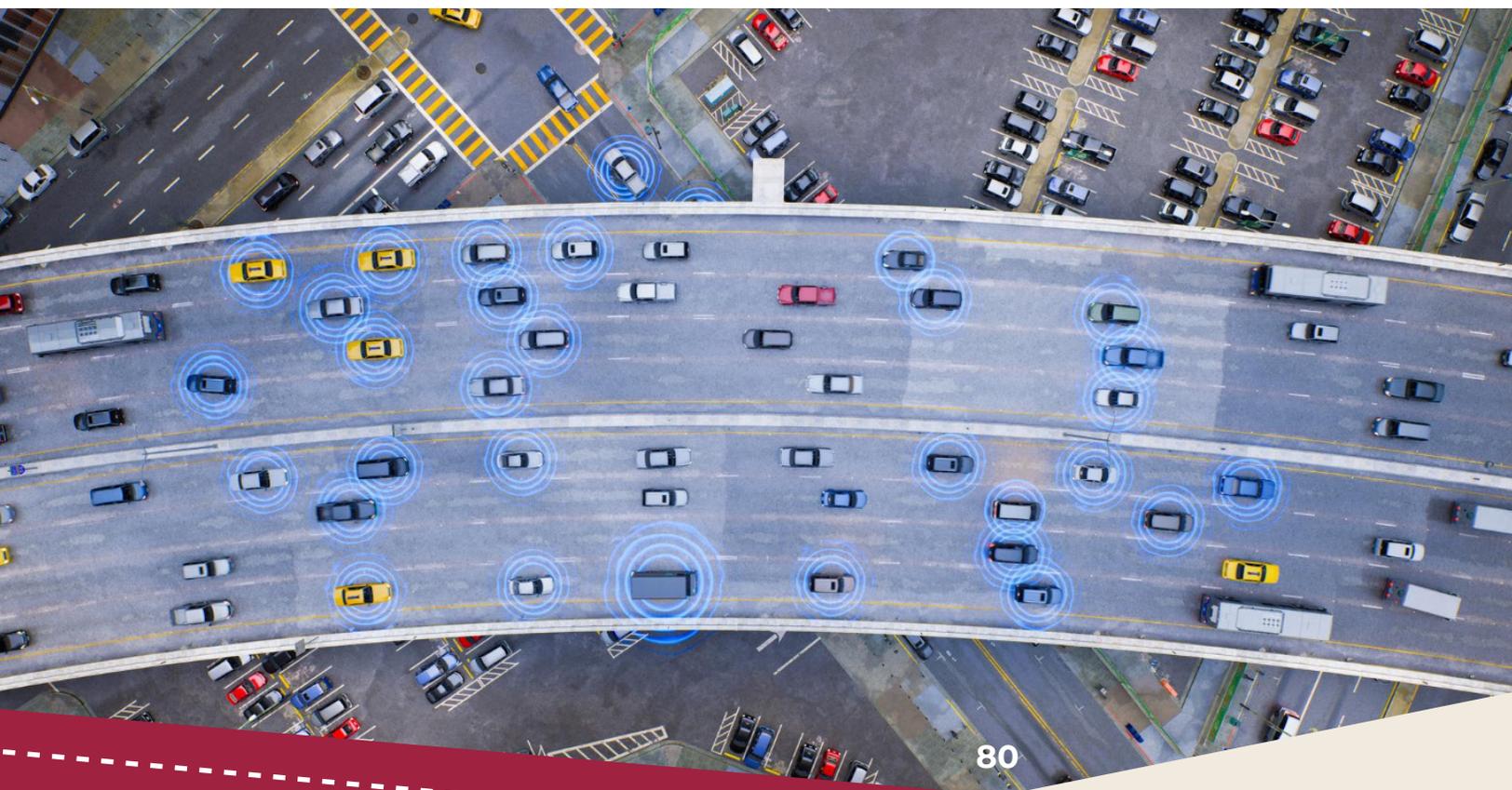
Las normas estarán contempladas para cada componente, de tal manera que clarifique y transparente la normatividad que debe seguirse en cada elemento para cualquier etapa de su ciclo de vida.

Cibernética de las operaciones en elementos del sistema de transporte

Luego de ver las tendencias tecnológicas que actualmente impulsan la cibernética de las operaciones, vale la pena mencionar y analizar los diferentes elementos de los sistemas de transporte terrestre que pueden verse beneficiados por la implementación de *software*, *hardware* e información masiva:

a. Centros de control y operación

Los centros de control están siendo complementados con sistemas automáticos de detección automática de incidentes (DAI) que, mediante el procesamiento de la información recibida a través de diferentes algoritmos y análisis de los datos recibidos, son capaces de detectar sin intervención humana incidentes que pueden afectar el libre tránsito de los vehículos.



b. Sistemas de monitoreo, medición y vigilancia

Los sistemas de monitoreo, medición y vigilancia están desarrollados para el cumplimiento de la normativa vial, pueden ser sistemas de cámaras de videovigilancia (CCTV, por sus siglas en inglés - *Closed Circuit Television*), sensores de velocidad, sistemas de control dinámico de gálibo y dimensiones, sistemas de estación de toma de datos (ETD), sistemas de reconocimiento de placas (LPR, por sus siglas en inglés - *License Plate Recognition*), sistemas medición de deformación de vías, sistemas de daños en carreteras y estaciones de pesaje dinámico, etcétera.



c. Sistemas de comunicación para emergencias

Agrupan las tecnologías para la asistencia vial o emergencia de los usuarios, como los postes de auxilio con voz y las aplicaciones móviles que permiten hacer llamadas al centro de control y operaciones.



d. Sistemas de estaciones de monitoreo climático

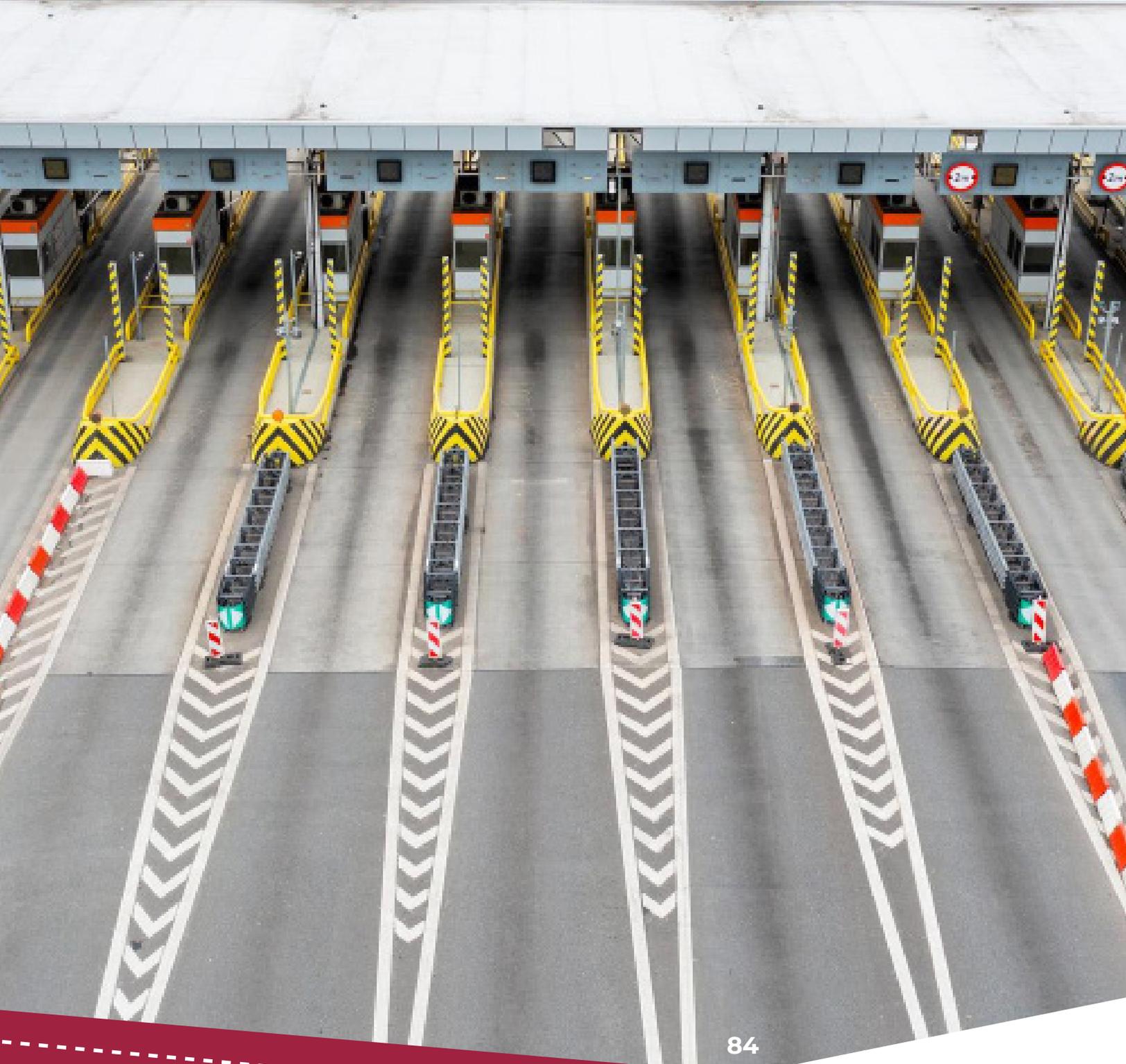
Estos sistemas son un conjunto de dispositivos y sensores que proporcionan información en tiempo real sobre el estado climático de la vía de comunicación, además de informar sobre las condiciones de la superficie de rodamiento como la temperatura, la humedad, el congelamiento, la altura de película de agua o nieve, la salinidad, entre otros datos.



e. Sistemas de pago electrónico

Estas tecnologías están centradas en el intercambio de información asociado al pago del derecho de uso de la infraestructura como el telepeaje o el uso de servicios complementarios como las estaciones de servicio de gasolina o estacionamientos.

Para brindar estos servicios se utilizan dispositivos dedicados de comunicación de corto alcance (DSRC, por sus siglas en inglés - *Devices Short Range Communication*), sistemas de comunicación de radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés - *Radio Frequency Identification*) o sistemas que interactúan con aplicaciones móviles en teléfonos inteligentes.

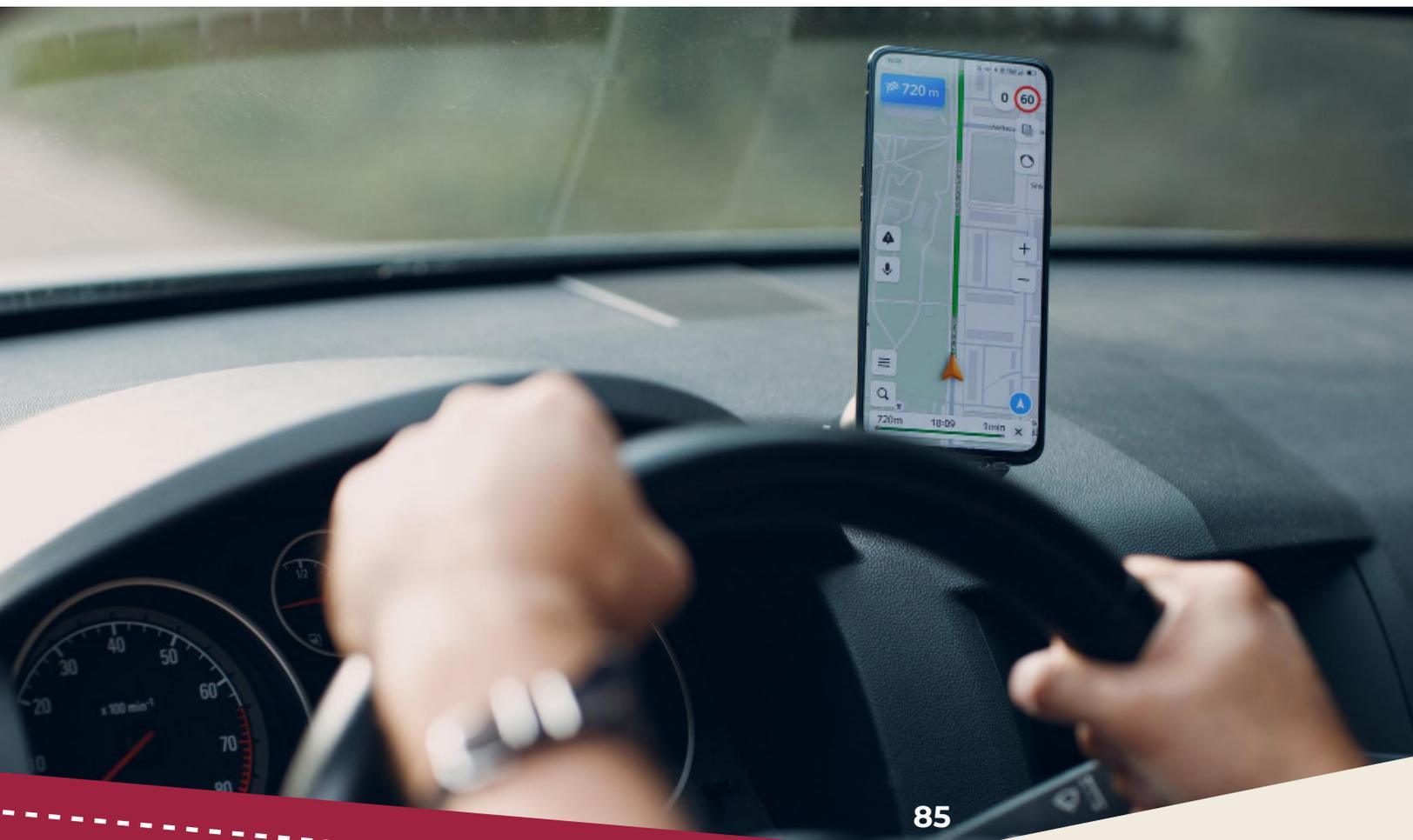


f. Sistemas de información y mensajes

Estas tecnologías tienen la función principal de mantener actualizados a los usuarios de las vías de comunicación terrestre con el propósito de tomar una decisión con relación a la información recibida, la cual puede ser sobre:

- » Los tiempos de recorrido
- » Las condiciones meteorológicas
- » Los congestionamientos de tránsito o de reparación y mantenimiento
- » Los incidentes importantes
- » Las instrucciones para toma de rutas alternas
- » La información de demoras, límites de velocidad, entre otros datos

Esta información puede mostrarse mediante sistemas de paneles de mensaje variable (VMS, por sus siglas en inglés - *Variable Message Sign*), aplicaciones en teléfonos inteligentes y mensajes en paneles de información de los vehículos.



g. Sistemas de suministro de energía

Los sistemas de suministro de energía pueden estar dedicados a proveer energía eléctrica a los centros de control y operaciones, así como a los equipos electrónicos del sistema ITS en campo. El suministro eléctrico se da generalmente a través de las redes de distribución comercial.

Sin embargo, también pueden implementarse sistemas de autoconsumo o autogeneración, que pueden estar conectados o no a la red de distribución.

Estos sistemas generalmente están soportados con otros de generación de respaldo que buscan proteger la continuidad de la operación del sistema de transporte en caso de falla del suministro de energía principal.

Los sistemas de suministro de energía también pueden tener la función de alimentar a los vehículos que transitan por las vías, esto podemos verlo generalmente en la electromovilidad y el transporte ferroviario.



El conjunto de aplicaciones informáticas en combinación con los sistemas tecnológicos da como resultado el desarrollo de Sistemas Inteligentes de Transporte.

Finalmente, será importante tomar en cuenta que la automatización es definitivamente un punto de impulso para la modernización del sector y, por otra parte, considerar el creciente avance del comercio electrónico (*e-commerce*) como un dinamizador clave para el sector logístico.

Vehículos automatizados y robóticos



- Los vehículos automatizados son una tendencia que debe desarrollarse por medio de un análisis que marque estrategias de la transformación de lo que implica la **reducción sistemática de los operadores** y su impacto en el binomio hombre-camión.
- Se requiere de una transformación sistemática de la infraestructura y la señalética (vertical y horizontal) con el desarrollo de vías y **carriles específicos** para los vehículos automatizados.

La tecnología para impulsar vehículos autónomos ha avanzado rápidamente y está preparada para un despliegue rápido, aunque la mayor dificultad es superar la fragmentación regulatoria. En este momento, los fabricantes de automóviles y los desarrolladores de *software* se enfrentan a reglas y regulaciones contradictorias que complican la innovación porque los fabricantes quieren construir automóviles y camiones para mercados que tienen distintos estándares.

Es necesario comenzar a homologar y estandarizar ciertos aspectos técnicos para abordar el despliegue y masificación de este tipo de tecnologías. También se requiere de mayor claridad con respecto a la responsabilidad legal y la protección de datos. Abordar estos problemas ayudaría a los fabricantes a implementar nuevas tecnologías.

Es probable que los vehículos autónomos se extiendan en nichos de mercado antes de que se vuelvan populares en un mercado de consumo más amplio.

El **costo inicial** de los automóviles automatizados será alto debido a la adición de cámaras, sensores, láseres y sistemas de inteligencia artificial, lo que impedirá la adopción por parte del consumidor típico. Más bien, las empresas y las áreas de nicho están posicionadas para ser los pioneros en su adopción.

Los **adoptantes** más probables incluyen aquellos con interés en automóviles compartidos como autobuses, taxis, camiones, vehículos de reparto, vehículos de transporte para personas mayores, discapacitados y aplicaciones industriales (*West, Securing the future of driverless cars*, 2019). Sin embargo, deben tenerse presentes las condiciones de la infraestructura que serán necesarias para que estos vehículos operen en México.

Los drones y los camiones de reparto autónomos comenzarán a ser comunes, lo que tendrá un tremendo impacto en la mejora de la seguridad vial, deberán mantenerse las carreteras más seguras y lo que beneficiará una entrega a tiempo, también reducirá los accidentes automovilísticos como un beneficio clave.

Las carretillas elevadoras autónomas y los brazos robóticos ya están en almacenes modernos y pueden cargar, descargar y transportar mercancías dentro del almacén y tienen cintas transportadoras flexibles.

Los sensores, la visión y la tecnología de orientación geográfica están ayudando actualmente al proceso de trabajo de logística. Las carretillas elevadoras pueden descargar carga y colocar paquetes en estanterías utilizando una red de dispositivos para transportar artículos.

Este tipo de vehículos incluyen la conducción asistida, entendida como un conjunto de sistemas que controlan la dirección, la velocidad y el frenado, que representa un gran beneficio para el transporte de pasajeros.



Muchos modelos, disponibles en la actualidad, incluyen funciones de este nivel, entre otras:

- » Piloto automático adaptativo (control de cruce)
- » Sistema de control de carril
- » Asistencia al estacionamiento
- » Control de distancia y anticolisión
- » Sistema automático de frenado de emergencia

El objetivo primordial de este tipo de conducción es reducir el índice de víctimas por accidentes de tráfico cuyas causas son los errores humanos.



Hay variedad de marcas que equipan sus vehículos con esta innovación tecnológica. La punta de lanza es sin duda Tesla, que prevé la velocidad de una curva; le sigue Volvo con su control de cruce y desvío automático a otro carril si detecta que viene un auto de frente. Mercedes Benz y BMW también se unen a la gama de automóviles cuya característica es la innovación en la conducción.

Los sistemas que incorporan la conducción asistida para los transportes de carga ven como **objetivo principal hacer eficiente la operación del vehículo y reducir costos**, además de **mejorar los tiempos de entrega**. Existen empresas de camiones de origen sueco que se están uniendo a la nueva era, cuya principal característica es el apoyo en este tipo de conducción.

Expertos señalan que la conducción autónoma y la digitalización reducirán los costos hasta en un 80% a través de la implementación de vehículos autónomos y la reducción del personal de planta en el transporte de carga y la logística. Adicionalmente, se aumentaría el nivel de explotación de los activos, en este caso los camiones, al elevar el tiempo en ruta hasta un 78%; que actualmente, con personas conduciendo este tiempo de ruta es del 29% ya que los conductores deben realizar pausas y tomar descansos (PWC, 2019).

Pasando a un siguiente nivel, se encuentra la **automatización parcial**, en la que los transportes son capaces de tomar el control de algunos sistemas. Sin embargo, el conductor debe tener en cuenta siempre que el vehículo toma el control por periodos cortos de algunas funciones y bajo ciertas condiciones, por esta razón debe estar siempre alerta para tomar el control en caso necesario.

Algunas aplicaciones y ventajas de la automatización son:

- » El vehículo autoconducido se mantiene en el carril y a una distancia segura de los otros elementos en la vía.
- » Se permite que el conductor deje de controlar el volante y el acelerador (conducción manos libres).
- » Estos vehículos autónomos detectan los límites del carril y de la carretera. Incluso sin necesidad de líneas o señalización en el pavimento.

Un mayor nivel de automatización corresponde a la **automatización condicional**, donde los sistemas son capaces de analizar su entorno y tomar decisiones. Para lograrlo, utilizan Sensores Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) para registrar lo que ocurre alrededor, combinan visión computarizada, cámaras, radar y localización.

Un transporte de pasajeros con este tipo de automatización tiene sus ventajas e impactos entre los que destacan:

- » Los vehículos son capaces de controlar funciones críticas de conducción, como circular en una autopista, adelantar un vehículo o tomar una salida.
- » El vehículo activa automáticamente ajustes de seguridad al detectar determinadas situaciones de tráfico, en la vía o ambientales.
- » El conductor puede dejar de supervisar al vehículo en periodos extendidos.

En un transporte terrestre el tráfico juega un papel importante, principalmente cuando se habla de ahorros de combustible. Para que un automóvil tome el control se requiere que el conductor siga pendiente de lo que acontece alrededor, particularmente si hay limitantes con respecto a la automatización condicional.

Por ejemplo, no es recomendable para tramos lentos inferiores a 60km/h en carreteras públicas. No obstante, aún existen países cuyo marco legal no está definido o actualizado para la implementación de este tipo de tecnologías.

En el nivel de Alta Automatización la conducción se ejecuta sin la necesidad de intervención de un conductor, valiéndose de algoritmos de IA para entrenarse en las distintas condiciones y escenarios de manejo, con conexión mediante sistema WiFi en el vehículo.

Las principales ventajas radican en que:

- » El automóvil puede controlar todas las funciones críticas de conducción y, por tanto, los vehículos autónomos modifican su respuesta en función de condiciones externas.
- » Si las condiciones son adversas, busca un lugar apropiado y se detiene.
- » Ya no hay conductor, solo pasajeros que, incluso, pueden viajar dormidos.

Puede ser que este tipo de transporte sea ideal para el transporte de pasajeros; sin embargo, es preciso esperar a que haya un mejor entendimiento y desarrollo en la investigación para conocer cuáles son los escenarios más propicios para su implementación.

El transporte terrestre con los niveles de automatización más elevados funciona intercambiando información con su entorno y aprovecha los datos generados, compartidos y gestionados por las redes de telecomunicaciones de las ciudades inteligentes y el IoT.

Posiblemente, por esa razón aún no existen inversiones para esa integración, puesto que los desafíos tecnológicos y las regulaciones son mayores al tener que integrar otros sectores que normalmente no participan de manera activa en el sector logístico y de transporte.

Bajo el tema de la automatización existe una tendencia llamada **platooning** en donde los vehículos viajan en pelotón de manera autónoma y sincronizada.



El *platooning* puede traer beneficios en menores consumos de combustible, esto se traduce en menos emisiones de GEI y material particulado. Adicionalmente, movilizarse en un convoy o pelotón, ayuda a reducir accidentes y provee mayor seguridad.

Cabe mencionar que existen marcas como Volvo, Daimler, Man, Scania y organizaciones como la Dirección General de Tráfico (DGT) española, que han estado explorando sobre la implementación de esta tendencia y sus beneficios para el transporte carretero.

Pensar en el procesamiento automatizado en el transporte puede ser común en este momento. La planificación de viajes, la compra de boletos, las reservas de viajes, la selección de asientos, el pago de equipaje y otros componentes de transporte se pueden administrar mediante sistemas automatizados.

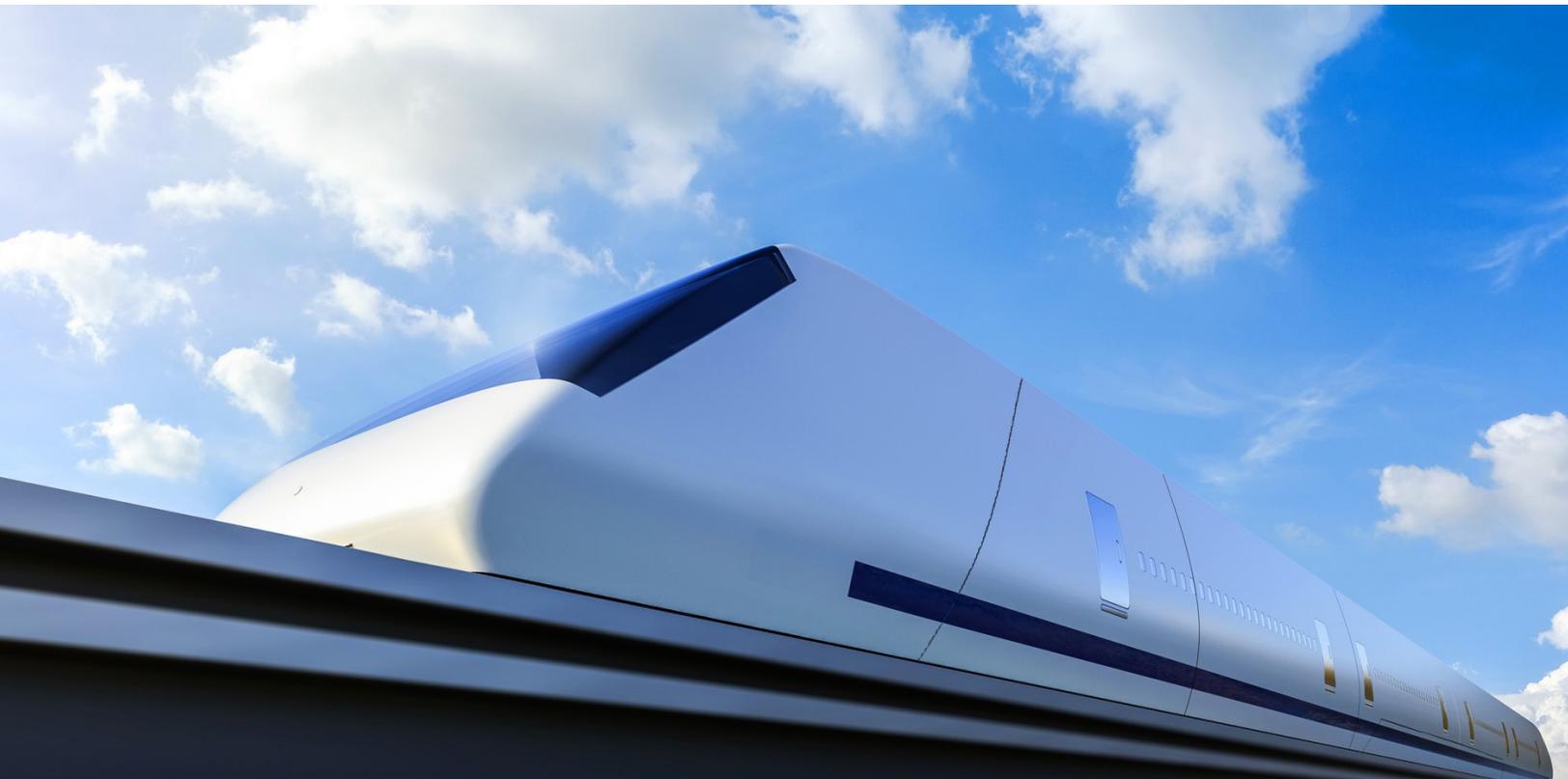
La **automatización en la propulsión** y la guía, así como el transporte de carga sin conductor, se probó hace casi un siglo en algunos modos, pero es relativamente novedoso (Cottrell, 2015).

La **automatización de los movimientos de los trenes** se desarrolló gradualmente a partir de la necesidad de hacer cumplir los comandos de señales, con la intención de que los conductores no pudieran permitir que los trenes pasaran más allá de su límite de autoridad de movimiento (LMA).

La **automatización del control del tren** se desarrolló a partir de ahí, utilizando avances en el control de tracción, que daba aceleración automática y en frenado, que podía incorporar control eléctrico y compensación automática de carga (Cottrell, 2015).

La **operación totalmente automática de una línea ferroviaria** requiere la implementación de un sistema central de control automático llamado Control automático de trenes (ATC, por sus siglas en inglés - *Automatic Train Control*), por medio del Control de trenes basado en la comunicación (CBTC, por sus siglas en inglés - *Communications Based Train Control*) que es una plataforma tecnológica que permite la implantación eficiente e integrada del sistema ATC (Connor, 2019).

El ATC se refiere a todo el sistema que incluye todas las demás funciones automáticas y, por lo tanto, ATC es la Protección Automática del Tren (ATP, por sus siglas en inglés - *Automatic Train Protection*), donde el tren recibe una Autoridad de Límite de Movimiento (LMA). Esto se basa en la velocidad actual del tren, su capacidad de frenado y la distancia que puede recorrer antes de detenerse.



En el tren automatizado, los datos del LMA se transmiten desde la vía al tren donde la computadora a bordo registra la velocidad actual y calcula la velocidad objetivo que el tren debe alcanzar y para cuándo. Esto se traza electrónicamente en forma de curva de frenado. (Connor, 2019)

En definitiva, los vehículos autónomos y con funciones de autoconducción podrán traer al transporte terrestre diversos beneficios en cuanto eficiencia en el transporte de pasajeros y mercancías, reducción de costos en las operaciones y mayor seguridad vial y reducción de accidentes.

Tecnologías de alimentación y eficiencia energética

El transporte terrestre de largo recorrido y uso comercial considera importante tener menores tiempos de paro y aumentar los niveles de eficiencia, en relación con la energía consumida por kilómetro recorrido. Esto influye en el posicionamiento y adopción de nuevas propuestas tecnológicas emergentes.

Dichas tendencias están influenciadas por objetivos de sostenibilidad que buscan reducir el impacto al medio ambiente y a la salud de las personas, además de una disminución de costos en la operación por mejoras en la eficiencia, la cual se ve reflejada en menores consumos de combustible.

Este apartado abordará las tecnologías que tienen que ver con los energéticos necesarios para propulsar los vehículos, su factibilidad de implementación y sus impactos potenciales.

Estas tecnologías nacen de avances tecnológicos alrededor del sistema de propulsión, tracción y transmisión de los vehículos; las modificaciones a los motores de combustión interna; modificaciones en los materiales de fabricación; nuevos combustibles o energéticos y diseños de los vehículos en su aerodinámica.

También hay avances en los sistemas de control que monitorean las variables del vehículo y la vía por donde transitan para modificar las condiciones de velocidad y tracción para un uso más eficiente del combustible.

Las modificaciones no solo son en el vehículo como tal, también en la formulación y el uso de los combustibles y energéticos.

Un ejemplo es la sustitución de gasolina y diésel por gas natural vehicular (GNV). También hay mezclas con bioetanol y otros biocombustibles para los cuales varios países ya tienen regulaciones sobre los porcentajes de mezcla.



Sin embargo, una de las tendencias que más fuerza ha tomado en los últimos años es la de la electrificación del transporte. Esto a través de vehículos totalmente eléctricos, enchufables o híbridos.

Los vehículos de propulsión eléctrica sin sistemas de combustión interna tomaron fuerza en la segunda década del siglo XXI, al punto de desarrollar tecnologías asociadas con diferentes propuestas de alimentación y almacenamiento energético. Utilizaban vías energizadas, catenarias, puntos de carga domiciliaria y electrolineras en vía pública para alimentar, a través de diferentes procesos, las baterías que almacenan la energía eléctrica, que después es entregada a los motores eléctricos conectados al sistema de tracción de los vehículos.

En este momento existe una discusión sobre cuál será el siguiente salto tecnológico dominante que complementa y sustituye al transporte terrestre movido por combustibles fósiles. La transición estará acompañada por modificaciones en la infraestructura y desarrollo de todo un nuevo marco normativo.

En informes recientes los costos nivelados del transporte (LCOT, por sus siglas en inglés - *Levelized Cost of Transport*) tienden a reducirse con las tecnologías en diferentes comportamientos de acuerdo con el tipo de vehículo.

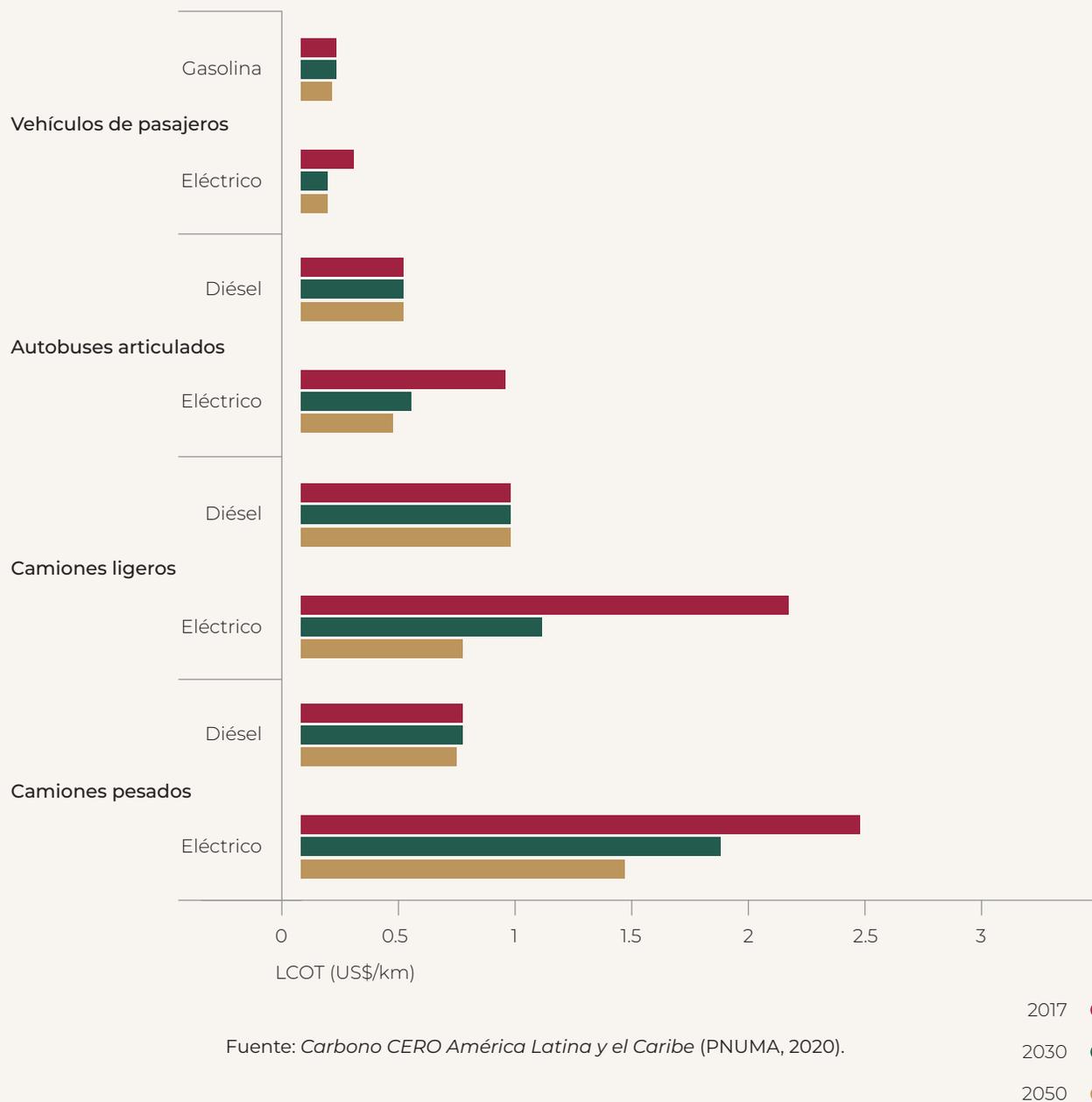
En la práctica, esto se ha podido observar en los sistemas de transporte público de Bogotá y Santiago de Chile con la implementación de autobuses eléctricos, en donde el costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés - *Total Cost of Ownership*) de un autobús eléctrico al final del ciclo de vida útil del vehículo es menor que el de un autobús de combustión interna.

Esto se da porque este tipo de vehículos tienen menos partes móviles propensas al desgaste y, por ende, la reducción en costos de mantenimiento es significativa.

A continuación, se presentan algunos datos y proyecciones del LCOT para diferentes segmentos del transporte carretero.

Figura 21

LCOT proyectados para vehículos eléctricos vs. de combustión interna (USD/kWh), 2017-2050



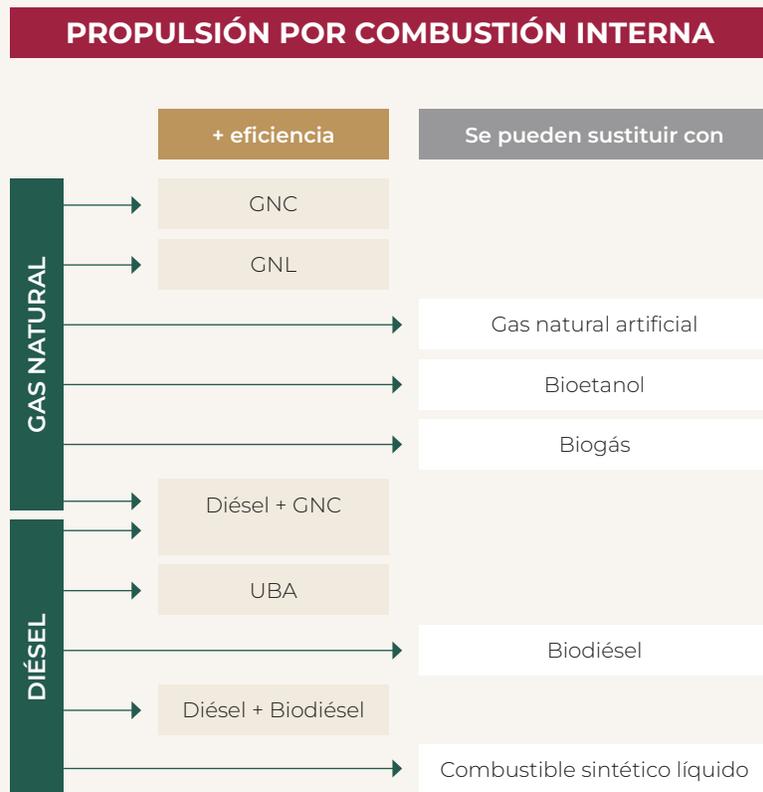
Algunas de las opciones tecnológicas que ya están siendo implementadas ampliamente, no solo en América Latina sino a nivel global, están orientadas a vehículos que típicamente consumen diésel, buscando reducir el consumo de diésel en el transporte terrestre, dichas opciones se han diversificado en dos ramas tecnológicas principales, como lo muestra la **Figura 22**.

Por un lado, manteniendo el motor de combustión interna, está el enfoque de la calidad del combustible donde se encuentra la versión de Ultra Bajo Azufre (UBA), las mezclas con gas natural, la sustitución por biodiésel, mezclas con biodiésel y los combustibles líquidos sintéticos.

Por el otro lado, en la segunda rama se encuentran las tecnologías que hacen uso del gas natural. Este se procesa en su versión comprimida y licuada (GNC, GNL) y, al igual que el diésel, también se sustituye con el biogás, los biocombustibles (biodiésel y bioetanol) y el Gas Natural Artificial.

Figura 22

Relación de las diferentes tecnologías de propulsión de motores de combustión interna



Fuente: Elaboración con datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Como se mencionó anteriormente, una de las tendencias de más rápido crecimiento es la de los vehículos eléctricos. Se prevé que estos reemplacen a los vehículos de combustión interna en algunos segmentos en el futuro próximo. Incluso, algunos países han hecho compromisos de prohibir la venta de vehículos de combustión interna después de 2035 y 2040, lo que forzaría una transición hacia los vehículos eléctricos.

Todo vehículo eléctrico tiene componentes fundamentales como la batería y el motor eléctrico, sin embargo, existen tres configuraciones claras:

Vehículos eléctricos puros a batería (BEV, por sus siglas en inglés - *Battery Electric Vehicle*). Son vehículos eléctricos que solo dependen de la energía eléctrica almacenada en su batería la cual alimenta el motor eléctrico que mueve el sistema de tracción. Dentro de estos vehículos lo común es que su proceso de recarga se haga enchufando o conectándose a un punto de carga, pero también puede hacerse mediante catenarias, carga de oportunidad inalámbrica, entre otros.

Vehículos híbridos enchufables (PHEV, por sus siglas en inglés - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*). Son vehículos que cuentan con un tren eléctrico compuesto por la batería y el motor eléctrico y, en paralelo, un tren con motor a combustión. Estos vehículos, como su nombre lo indica, tienen la capacidad de cargar su batería a través de una conexión a un punto de carga.

Tienen la capacidad de funcionar en modo 100% eléctrico, 100% combustión o una conducción combinada (híbrida) donde los motores funcionan en paralelo, uno asistiendo al otro.

Vehículos híbridos. (HEV, por sus siglas en inglés - *Hybrid Electric Vehicle*). Estos vehículos también tienen motor de combustión y motor eléctrico, la diferencia es que el motor de combustión es el principal. Por medio de la conducción y la recuperación de la energía dinámica resultante, se va cargando la batería que alimenta al motor eléctrico. Una vez cargada la batería, puede comenzar a funcionar el motor eléctrico para propulsar el vehículo. Este tipo de vehículo tiene sistemas de control que, según el estado de carga de la batería, la exigencia en la conducción y las condiciones, se va seleccionando qué motor es el que propulsará al vehículo.

En algunos casos, los llamados Mild Hybrid Electric Vehicles (MHEV), su motor eléctrico tan solo asiste al motor de combustión. Esto significa que, por lo general, los MHEV no tienen una capacidad de conducción de 100% eléctrica.



Para que la electromovilidad tenga los impactos esperados debe haber un complemento por parte del suministro de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias. En Latinoamérica, existe un alto potencial de penetración de energía renovable, por lo que la electromovilidad es una excelente alternativa para reducir las emisiones de gases contaminantes.

Al adoptar la electromovilidad, es importante realizar este análisis de fuentes con las que se está generando la energía eléctrica para poder calcular de manera adecuada los impactos que tiene en la transición hacia este tipo de movilidad.

Otro combustible o vector energético que está entrando en la conversación de la movilidad es el **hidrógeno**. Aunque el interés por utilizar el hidrógeno como combustible se originó hace ya varias décadas, un problema que ha sido superado es la dificultad de contenerlo debido a sus características físicas.

Esto se resolvió con el uso de recipientes, combinando materiales de alta resistencia e impermeabilidad, debido a la necesidad de comprimirlo a altas presiones que pueden llegar a los 700 bar en el depósito del vehículo.



El combustible de hidrógeno puede producirse mediante varios métodos. Uno de los más utilizados hoy en día es el reformado de gas natural (un proceso térmico) donde al hidrógeno resultante se le llama hidrógeno gris.

También hay procesos de pirólisis o gasificación de combustibles fósiles que producen hidrógeno negro y café. Asimismo, el producido a través de la electrólisis del agua, que hace que la electricidad fluya a través del agua para separar los átomos de hidrógeno y oxígeno. En contraparte, el producto que resulta del proceso de aplicación (conversión a energía eléctrica) es agua, H_2O .

Dependiendo de la fuente con la que se genere esta electricidad se le asigna el color o la etiqueta. El hidrógeno proveniente del proceso de electrólisis con fuentes renovables como la solar o la eólica es considerado hidrógeno verde, el cual se presenta como un vector energético para apoyar estrategias de la neutralidad del carbono.

En cuanto a vehículos, la combinación de la tecnología de pila de combustible de hidrógeno con un tren de tracción eléctrico da origen a los **vehículos eléctricos de celda de combustible (FCEV, por sus siglas en inglés - Fuel Cell Electric Vehicle)**. Los FCEV son básicamente vehículos eléctricos que tienen como almacenamiento de energía el tanque de hidrógeno y una interfaz que convierte la energía contenida en las moléculas de hidrógeno en electricidad que se almacena en la batería y, posteriormente, es utilizada por el motor eléctrico.

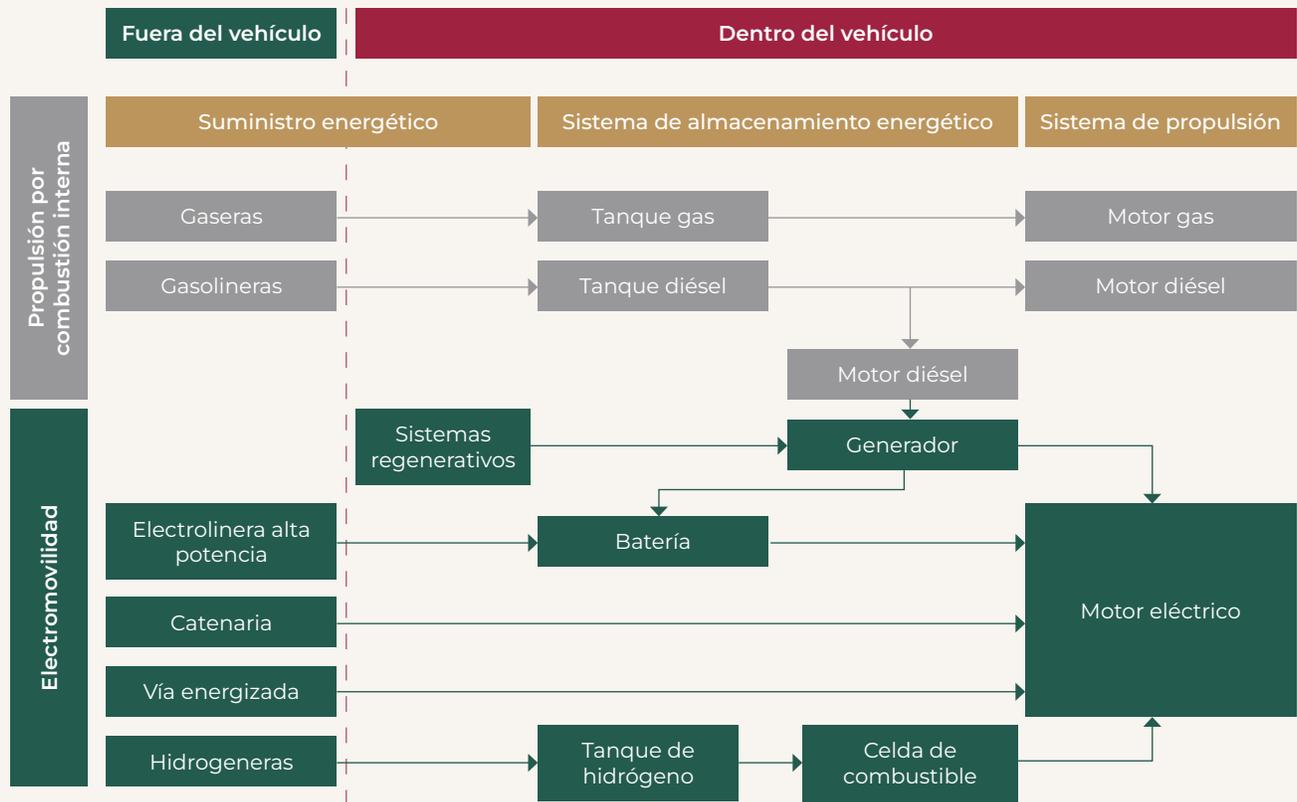
En el transporte ferroviario, el uso de hidrógeno y celdas de combustible también se está contemplando como una opción para la descarbonización del transporte y la transición hacia vehículos de cero emisiones.

El primer tren de pasajeros del mundo impulsado por pila de combustible de hidrógeno fue producido por Alstom, llamado **Coradia iLint**. Este tren de cero emisiones también emite bajos niveles de ruido debido a que, como producto del escape se obtiene solo vapor y agua condensada (ALSTOM, 2020).

A continuación, se presenta un resumen de los vehículos descritos anteriormente.

Figura 23

Posibilidades de configuraciones de los diferentes tipos de vehículos



Fuente: Elaboración con datos proporcionados por el IMT.

Otras tecnologías de adopción rápida con un enfoque de eficiencia energética se orientan en el rediseño de la estructura y elementos de fabricación de los vehículos con materiales más ligeros y mejores propiedades funcionales y, además, con componentes que reduzcan su huella de carbono en la reutilización y el reciclaje.

Los materiales de aleaciones más ligeras privilegian el peso de la carga o, para el caso de los vehículos eléctricos, compensan el peso de las baterías.

Desde el componente rodante carretero y ferroviario se proponen nuevas tecnologías para la reducción de la fricción y resistencia de los materiales de contacto.



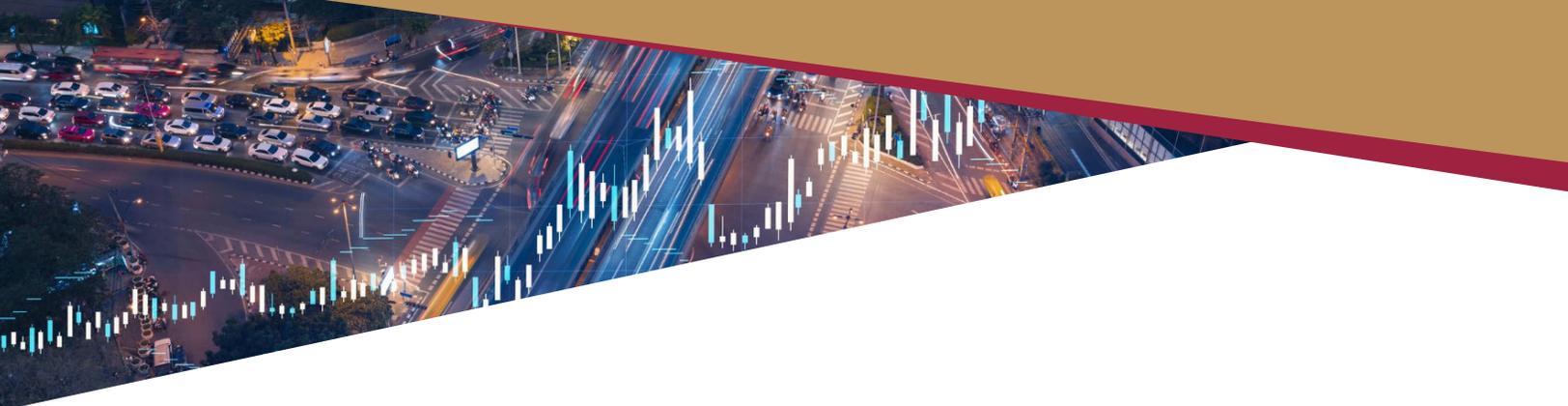
Para el caso carretero, existen nuevos diseños de neumáticos y sistemas de monitoreo del estado del neumático, mientras que, para el caso ferroviario, las empresas emergentes combinan los principios clave de los ferrocarriles y la aviación para introducir nuevos tipos de material rodante de velocidad ultrarrápida, en particular, los trenes *hyperloop*.

Esto, sin combustibles fósiles y también impulsado por propulsión magnética eléctrica (*StartUs Insights*, 2021). Estos diseños inciden directamente en el consumo eficiente de la energía.



CAPÍTULO 3

**MAPA DE RUTA
TECNOLÓGICA
DEL TRANSPORTE
TERRESTRE**



Luego de evaluar el estado del régimen sociotécnico bajo el cual se encuentra el transporte terrestre en México y de hacer un barrido por las diferentes innovaciones tecnológicas que están emergiendo para la modernización del transporte, en este capítulo se busca esbozar los lineamientos para la construcción de un Mapa de Ruta Tecnológica.

Estos lineamientos serán recomendaciones para tomadores de decisiones y formuladores de política pública para que, a través de ciertas líneas de acción estratégica, puedan crearse ventanas de oportunidad y condiciones propicias para la transición tecnológica del transporte terrestre en México.

Estas líneas de acción estratégica se presentan a continuación:



Para cada grupo de acciones específicas se ha realizado un análisis identificando sus debilidades, barreras y amenazas, pero también su potencial de impacto. Con base en este análisis también se realizó un ejercicio de priorización de las acciones junto con los actores relevantes del sector.

En primer lugar, con este ejercicio de priorización se pretende establecer cuál es el impacto esperado de cada acción con el objetivo de promover la transición tecnológica del transporte terrestre hacia uno moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo; así como en los distintos cobeneficios que se han identificado para esta transición, como lo son:

- » Mejoras en la eficiencia del sector para aumentar la competitividad.
- » Mejoras en la seguridad y la reducción de accidentes.
- » Apoyos a la innovación en la industria automotriz.
- » Abogar por la innovación y modernización de las cadenas de valor de los sectores productivos.
- » Promover la sostenibilidad ambiental y su contribución con las metas climáticas del país.
- » Mejoras en la calidad del aire y la salud pública.
- » Contribuir a la sostenibilidad y seguridad energética del país.

En segundo lugar, se ha ponderado el costo relativo o la dificultad de implementación de la acción. Este costo de implementación no debe verse solamente en términos económicos, sino también en términos de costo político para el gobierno en turno; además de considerar las dificultades para encontrar voluntades políticas que asuman la implementación de la acción.

Para las acciones a largo plazo se identifican obstáculos de continuidad en su implementación a lo largo del tiempo, además de las barreras asociadas a la dificultad de coordinación de múltiples actores.

A partir de la valoración del impacto de cada acción y de su costo o dificultad de implementación, se han creado mapas de priorización de las acciones donde aquellas que proveen el mayor impacto al menor costo se constituyen como las que proporcionarían los logros a corto plazo del Mapa de Ruta Tecnológica propuesto. Estos logros son los que permitirán evaluar los avances del Mapa estableciendo

distintos hitos, sobre los cuales se valorará el impacto real de la acción estratégica.

Por otra parte, se recomienda realizar una actualización periódica y constante de los tiempos y alcances de las líneas de acción estratégicas aquí planteadas, dada la rápida evolución de las tecnologías que generan nuevas tendencias en el transporte a nivel global.

Asimismo, siempre es importante hacer dichas evaluaciones y revisiones contrastando la realidad mexicana de modo que planteen acciones que realmente lleven a una transición tecnológica efectiva en lugar de establecer metas meramente aspiracionales.

Finalmente, se presentará la visión general del MRT-TT en México con base en los análisis descritos anteriormente.

Acciones estratégicas

La visión de tener un transporte terrestre que promueva el desarrollo tecnológico, económico, ambiental y social de México para una mejor conectividad y accesibilidad se espera lograr con grupos de acciones estratégicas.



Cada grupo de acciones se orienta hacia una visión de transporte integrado e impulsado por la digitalización y otras tecnologías mediante la identificación de nichos de oportunidades.

Los nichos son atendidos a través de la aplicación inmediata de tecnologías en tendencia, la propuesta de instrumentos que incentiven al desarrollo tecnológico nacional y la generación de capacidades tecnológicas impulsada por la formación profesional y postprofesional especializada.

El **primer grupo de acciones estratégicas** se centra en promover la transformación del sistema sociotécnico del transporte terrestre mediante mecanismos de coordinación interinstitucional para la atención de los objetivos transversales, como la transformación del trabajo, la energía y el desarrollo económico, a través de la digitalización y el cumplimiento de las metas basadas en los objetivos del desarrollo sostenible.

Los mecanismos están conformados por acciones e instrumentos para coordinar la colaboración entre las empresas, la academia y el gobierno, con el uso de espacios de diálogo regulares, el impulso a los comités técnicos actuales y el desarrollo de repositorios de información únicos de fácil acceso para la consulta gubernamental.

El **segundo grupo de acciones** se orienta a impulsar la integración del transporte terrestre carretero, ferroviario e intermodal desde una perspectiva que incite a la eficiencia de las operaciones logísticas.

En este grupo se considera el tipo de carga, la demanda y la distancia, de acuerdo con los objetivos de desarrollo de las diferentes regiones del país. Las acciones están centradas en atender las necesidades actuales y futuras de las zonas y puertos industriales mediante una interacción coordinada y eficiente de cada modo de transporte.

El **tercer grupo de acciones** se encamina a identificar nichos de oportunidad que incentiven e impulsen el desarrollo competitivo de la industria automotriz de vehículos pesados y ferroviarios nacionales. Esto se realiza con una visión de sustentabilidad basado en el uso de energías renovables, la aplicación de nuevas tecnologías extranjeras y el desarrollo de la tecnología nacional.

Para cada grupo de acciones se ha realizado un análisis de sus fortalezas, amenazas y barreras, así como de sus potenciales de impacto, fortalezas y oportunidades.

Más adelante, se presenta el ejercicio de priorización de las acciones específicas dentro de cada línea de acción estratégica y con base en este ejercicio de priorización es que se procede, posteriormente, a presentar el MRT-TT.

Acciones para la transformación

Uno de los principales retos para la transformación del transporte terrestre en México es la capacidad de analizar las tendencias tecnológicas y su impacto en la vida de los ciudadanos. Lo cual requiere vigilar las tendencias y una incorporación equilibrada mediante el desarrollo de políticas públicas y regulaciones.

De esta manera, se tiene una clara transición y adopción de la tecnología con el fin de anticiparse a los riesgos potenciales de su uso. Sin embargo, las acciones de transformación son mucho más amplias, ya que deberán brindar las bases que faciliten la estabilidad de un proceso de fomento, desarrollo tecnológico y adopción social sustentable.

Son las acciones que están enfocadas a promover la TRANSFORMACIÓN del sistema sociotécnico del transporte terrestre desde su problemática y escenario actuales en México, **hacia un régimen futuro deseable**, basado en los hitos y tendencias del desarrollo tecnológico global.



Creación de un observatorio del transporte terrestre en México



Establecimiento de clúster y redes



Planeación estratégica de gran visión del transporte



Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental



Rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones

De igual manera, un factor importante dentro de estas acciones por considerar es la coordinación interinstitucional de los diferentes niveles de gobierno, ya sea a nivel federal, estatal o municipal dentro de las esferas económicas, de investigación, regulatorias y de transporte terrestre.

En este sentido, se propone un conjunto de acciones estratégicas, cuyo propósito es vigilar los cambios tecnológicos, coordinar la respuesta del subsector desde el gobierno y agilizar la actualización de leyes, normas y reglamentos asociados.

1



ACCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN

Creación de un observatorio del transporte terrestre en México

Objetivo

Desarrollar una instancia que mantenga una vigilancia permanente de los cambios tecnológicos del transporte terrestre, las tendencias e implicaciones económicas, ambientales y sociales, así como las condiciones detalladas en las que se realizan las actividades de transporte terrestre de pasajeros y de carga que faciliten la construcción y evaluación de indicadores de calidad, productividad, seguridad y beneficios sociales derivados, con una visión que integre el transporte marítimo y aéreo.

Descripción

Esta acción surge de la necesidad constante de mejorar la calidad de la información desde una fuente de consulta que permita al gobierno, a las empresas, a la academia y a la sociedad civil estar informados sobre el desempeño y los desarrollos tecnológicos en el sistema de transporte terrestre.

La propuesta surge después de analizar las asimetrías de información proporcionadas por los expertos participantes en los talleres y las entrevistas realizadas para la construcción del Mapa de Ruta Tecnológica.

Los resultados muestran una brecha entre las necesidades actuales de todos los actores del sector y el acceso a la información que facilite la toma de decisiones de inversión, de mercado, de acción operativa y actividades de investigación y desarrollo.

Estos observatorios de transporte han sido utilizados a nivel regional, tal es el caso de:

- La Unión Europea junto con el Sistema de Seguimiento e Información de la Investigación y la Innovación en el Transporte (TRIMS, por sus siglas en inglés)
- El Observatorio Ferroviario de América Latina (OFL) de la Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles

Y a nivel nacional como:

- En Estados Unidos con el Departamento del Transporte (DOT, por sus siglas en inglés - *Department of Transport*)
- En México y otros países los observatorios de transporte requieren hacer énfasis en los temas de desarrollo tecnológico para brindar acciones que detonen la innovación.

Los beneficios de los observatorios no deben ser cuestionables, pues ya existen investigaciones diversas que han mostrado su impacto positivo. Una de estas investigaciones es la presentada por el Banco Interamericano de Desarrollo (2012), que analizó las ventajas de tener este tipo de instancias dentro de América Latina y el Caribe.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Si bien la creación del Observatorio del Transporte Terrestre en México será de vital importancia para tener un transporte terrestre integrado, eficiente, seguro y competitivo, se ha identificado una serie de barreras, debilidades y amenazas para la implementación del mismo:



BARRERAS

- Registro y obtención de cierto tipo de datos para los cuales no se posee la capacidad tecnológica adecuada.
- Coordinación de actores relevantes para la captura, envío, concentración y análisis de los datos.



DEBILIDADES

- Fuentes de información que se supone alimentarán al observatorio.
- Calidad de información disponible en tiempo y forma.
- Homologación de la información: tener diferentes fuentes y metodologías de medición de los datos hace que la información difiera en la calidad según su fuente, lo que dificulta los análisis requeridos.



AMENAZAS

- Ausencia de coordinación entre los actores relevantes, lo que debilita las cadenas de custodia de la información, haciéndola susceptible de ser modificada y corruptible.
- Amenazas a la creación de este, cuando dentro de los organismos responsables del registro, procesamiento y análisis de datos no existe una voluntad política fuerte con respecto al desarrollo del observatorio, ya sea porque las visiones estratégicas priorizan otros aspectos o porque la finalidad del observatorio no está dentro de la finalidad y los objetivos prioritarios para el actor en cuestión.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Como se mencionó anteriormente, los beneficios que puede traer la creación del observatorio son innegables y, a continuación, se presentan varias de las oportunidades, fortalezas y potenciales impactos que puede tener su creación:



OPORTUNIDADES

- Permitiría tener un repositorio de información constante y útil para la formulación de planes y política pública efectiva.
- Posibilitaría monitorear las condiciones mecánicas y de vida útil de las flotas y de la infraestructura con el fin establecer tiempo para la actualización de la flota, y poder realizar mejoras hacia una operación más eficiente, lo que resulta en mejoras en la calidad del servicio.



FORTALEZAS

- Ajuste y actualización de las políticas, planes y proyectos vigentes, para potenciar su impacto basado en la evidencia.
- El sector productivo y las cadenas logísticas brindarían información sobre los transportistas y de esta manera se podría medir más objetivamente los riesgos, proclividad a accidentarse, eficiencia y efectividad en los tiempos de cumplimiento, y reiteración de infracciones. Todo esto es positivo para la mejora en la calidad de los servicios de transporte terrestre.
- El sector servicios, como los seguros, contarían con mejor información para tomar decisiones informadas que al final impactan en los costes de operación y en la competitividad general de la economía.



POTENCIALES DE IMPACTO

- Se fortalecerían las empresas de transporte y logística al tener herramientas que les permita medir sus niveles de cumplimiento y las irregularidades halladas en su cadena de valor, lo que impactará de manera positiva en la calidad del servicio.
- La construcción de indicadores de desempeño del sistema para entrar en procesos de mejora continua y así prever o evitar rezagos en la actualización tecnológica del transporte terrestre.

2

ACCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN

Establecimiento de clúster y redes

Objetivo

Crear una estructura que integre a un conjunto de actores dentro del sector de transporte, que brinde las capacidades de identificación, análisis de oportunidades y creación de innovaciones tecnológicas.

Descripción

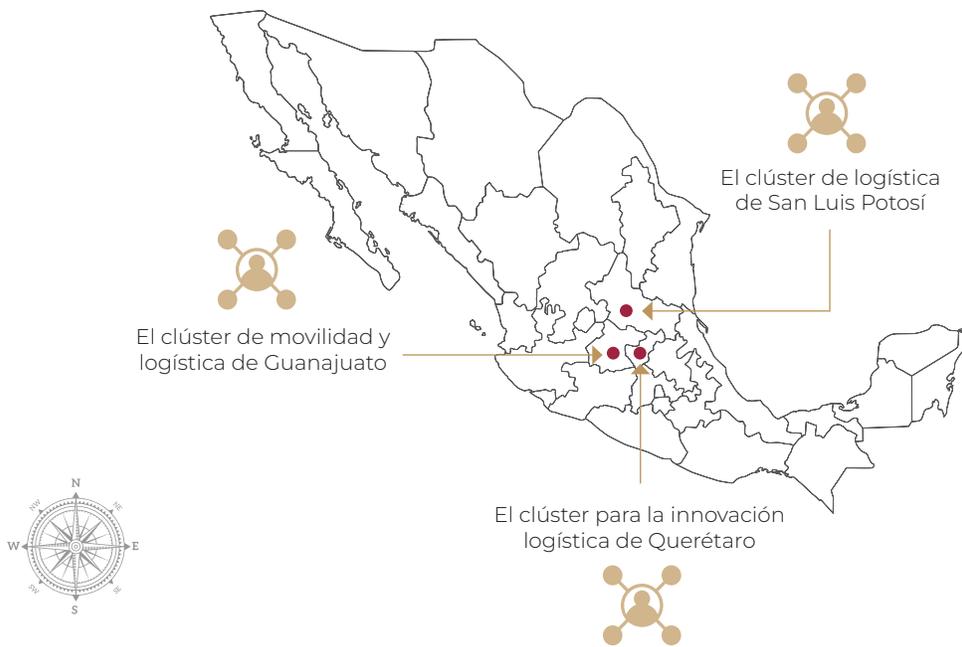
La creación de observatorios también debe vincularse con la creación de redes y clústeres (físicos y virtuales).

La observación crítica del sector, la generación de propuestas, el entendimiento de los avances tecnológicos, y la detección de nichos de oportunidad técnica y de innovación solo es posible si creamos una red de intercambio y un clúster como un punto de unión para la solidez del aprovechamiento tecnológico en el sector transporte.

En materia de autotransporte, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha iniciado diversas propuestas en materia de clúster y redes que se están observando en todo el mundo. En México, ya se han implementado al menos tres clústeres que resultan clave para el sector en San Luis Potosí, Querétaro y Guanajuato.

Mapa 8

Clústeres implementados en México



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al transporte ferroviario, se están iniciando los trabajos para la creación del Clúster Ferroviario MX (Red Global MX) que fue presentado en Berlín, Alemania, el ocho de noviembre del año 2021, con el propósito de promover el intercambio de conocimientos, experiencias y capacidades en diversos ámbitos del sector ferroviario entre instituciones de México y Alemania.

Estas redes deben siempre propender por incluir actores de la cuádruple hélice. Es importante generar sinergias de colaboración entre todos los sectores para poder identificar las necesidades desde la demanda y qué oferta pueda suplir, para que desde el sector público se generen los marcos normativos que permitan a la oferta poder cubrir esas necesidades que se generan en la demanda.

El valor que tienen estas redes y clústeres es el de generar diálogos y consensos sobre lo que es necesario para mejorar cada día más el transporte terrestre en México.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

A continuación, se presentan las barreras, debilidades y amenazas encontradas en el establecimiento de clústeres y redes de actores del sector:



BARRERAS

- Integración de pequeños y medianos actores, dado el dominio de actores particulares que por su tamaño tienen mayor representación en el sector.
- Existen estructuras en algunos casos de carácter casi monopolístico.



DEBILIDAD

- Integración de actores, ya que existe una segregación de actores basada en condiciones geográficas, económicas y de competitividad.



AMENAZA

- Existe un gran reto: la dificultad de alinear visiones de actores tan diversos y heterogéneos de los diferentes subsectores.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Asimismo, tener estos clústeres y redes de actores funcionando tiene una serie de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto hacia el cumplimiento de las metas del Mapa de Ruta:



OPORTUNIDADES

- El aumento de la eficiencia en la integración de procesos, haciendo a la economía mexicana más competitiva.
- La existencia de pequeños grupos y clústeres que desde ahora podrían ponerse en la mesa para generar discusiones y crear sinergias.
- La integración con el observatorio para hacer más fácil la recolección de información a partir de fuentes primarias, lo que mejoraría sustancialmente la calidad de la información.



FORTALEZA

- Se busca reducir la vulnerabilidad de los actores pequeños que participan de las cadenas productivas, haciéndolos más competitivos.



POTENCIAL DE IMPACTO

- La unificación del sector para desarrollar una estrategia integrada de transporte terrestre.

3



ACCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN

Planeación estratégica de gran visión del transporte

Objetivo

Creación de una planeación estratégica de largo plazo para el desarrollo del transporte terrestre en México, que permita orientar las acciones desde la gran visión de cuatro hélices, atendiendo las necesidades nacionales.

Descripción

Con el establecimiento de los observatorios, clúster y redes, se tendrán las bases para la comprensión, análisis, discusión y acción estratégica de largo plazo. Sin embargo, los insumos esenciales para este trabajo los constituyen los planes estratégicos de transporte. Es necesario, urgente y prioritario dar impulso a la Planeación Estratégica de Gran Visión del Transporte Terrestre Mexicano, la cual debe conceptualizar la intermodalidad y la integración de los modos de autotransporte y ferroviario para que haya complementariedad.

Actualmente, el transporte carretero es ampliamente dominante en el transporte terrestre en México, sin embargo, debe concebirse al ferrocarril como un actor importante para sincronizar los altos flujos de mercancías, dada su gran capacidad de movimiento de altos volúmenes de mercancías con una baja contribución de emisiones de carbono a la atmosfera cuando se compara con el autotransporte.

La realización de esta Planeación Estratégica de Gran Visión del Transporte Terrestre Mexicano, implica aspectos demográficos, económicos, culturales, de costumbres y formas de vida de la población; además, requiere del análisis de las relaciones de los agentes de producción y su localización geográfica dentro de los procesos globales de generación de bienes y servicios, así como la comprensión de la industria del transporte terrestre, la infraestructura, las condicionantes que caracterizan a los servicios de transporte, las tecnologías disponibles y las tendencias tecnológicas que se avecinan.

Para llevar a cabo la planeación para el desarrollo se sugiere, como indispensable, el estudio bajo una perspectiva multidisciplinaria, que por medio de un proceso de discusión y análisis resulte en la creación de un conocimiento del sector propio o una interdisciplina del transporte (innovación).

Además, el trabajo conjunto, basado en un modelo de cuatro hélices, permitiría lograr un resultado que integre la visión y las necesidades de los actores involucrados: academia, gobierno, industria y sociedad.

La planeación estratégica permitirá establecer qué tecnologías deben unificarse para homologar las operaciones logísticas y comerciales en el largo plazo con nuestros socios comerciales norteamericanos, lo que facilitaría el comercio y aseguraría el cumplimiento de los compromisos establecidos en el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC). Al mismo tiempo que se evita crear zonas o regiones con tecnologías de señalización y control que dificulten la interoperabilidad de los sistemas y el intercambio tecnológico de datos.

De igual manera, la planeación estratégica brinda los elementos para la priorización de los proyectos tecnológicos que requieren inversión y que faciliten la integración de los modos carretero y ferroviario con una visión global de transporte, dentro de un ciclo completo de transporte, que permita el logro de una visión unificada de tecnologías para la operación y seguridad del transporte.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

A continuación, se presentan las barreras, debilidades y amenazas encontradas para realizar una planeación estratégica de gran visión en el transporte terrestre:



BARRERAS

- La ausencia de un mayor nivel de integración entre el autotransporte y el transporte ferroviario. Usualmente llevan a cabo la creación de política y regulación de manera separada y no coordinada, lo que dificulta crear una planeación general unificada del transporte terrestre.
- Los creadores de política de autotransporte no conocen o no pueden acceder a la información sobre las capacidades del sistema ferroviario para atender la demanda y capacidad. Esto pone una traba a la intermodalidad, ya que es difícil planear sin tener en cuenta estas limitaciones entre un modo de transporte y otro.



DEBILIDADES

- El mercado y la tecnología avanzan, en la mayoría de los casos, mucho más rápido de lo que lo hace la planeación y el desarrollo de política.
- Una debilidad derivada de la amenaza de los compromisos es que muchas veces este tipo de acuerdos contemplan solo algunos sectores o subsectores, como es el caso de los vehículos ligeros. Al enfocar esfuerzos exclusivamente en un solo subsector, se pierde la capacidad de integración y la transición tecnológica comienza a verse debilitada y desbalanceada.



AMENAZAS

- La obligación de los gobiernos de atender rezagos que aún plantean problemas a la operación y que deben solucionarse de manera inmediata y prioritaria. El enfoque en la implementación de la política vigente y de mantener lo existente operando quita atención y recursos de los ejercicios de planeación.
- La disponibilidad y el acceso a las distintas tecnologías que emergen. Generar políticas y regulaciones que no sean lo suficientemente abiertas y que promuevan la competencia puede causar estancamientos tecnológicos evitando la fácil adopción de nuevas y mejores tecnologías y, por ende, dificultando la planeación a largo plazo.
- La presencia de los posibles conflictos que se generan cuando el país ratifica o firma compromisos internacionales cuyos objetivos exigen alcanzar metas y generar condiciones que difícilmente tienen relación con la realidad del sector. Forzar los saltos tecnológicos sin atender problemáticas de fondo, muchas veces puede generar aún más traumatismos en el sector, el cual se ve obligado a embarcarse en una transición tecnológica desordenada, sin planeación y poco efectiva.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Sin embargo, contar con la posibilidad de hacer una planeación estratégica integrada tiene una serie de ventajas que se ven reflejadas como oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto:



OPORTUNIDAD

- Ir de la mano con la industria para poder integrar una visión que logre aumentar la competitividad de la economía mexicana.



FORTALEZA

- La creación de estándares e interoperabilidad de los distintos sistemas de transporte terrestre. Esto, en términos prácticos, es estandarizar y crear marcos que promuevan la interoperabilidad en infraestructura de recarga, la homologación de vehículos, y la producción de normas técnicas que establezcan parámetros y criterios base para la adopción tecnológica.



POTENCIAL DE IMPACTO

- Mejorar los marcos de política que generan las condiciones propicias para que México pueda destacar como una plataforma logística global.

4

ACCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN

Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental

Objetivo

Creación de una estrategia nacional para el desarrollo del transporte terrestre en México y el establecimiento de los mecanismos institucionales asociados que permitan coordinar las acciones de política pública del subsector, para favorecer las inversiones públicas y privadas que aseguren la modernización tecnológica.

Descripción

El uso eficiente de los recursos presupuestales del gobierno es uno de los retos permanentes de todas las administraciones, lo que lleva a reducir la duplicidad de esfuerzos entre estancias gubernamentales para atender los objetivos de desarrollo propuestos.

La transformación hacia un transporte eficiente, seguro y sostenible hace imperativo la coordinación más estrecha de diferentes instancias de gobiernos que persiguen objetivos comunes.

Esta acción estratégica no es nueva, pero en este Mapa de Ruta Tecnológica se ha identificado como urgente y necesaria en los resultados de los talleres, y se fundamenta de las conclusiones de los talleres y parte de los comentarios de dos expertos entrevistados.

Además, se sustenta por el impacto directo en la velocidad en que las otras acciones para la transformación podrán llevarse a cabo, contribuyendo de manera transversal y facilitando los compromisos de los agentes de los tres órdenes de gobierno: reducción de los accidentes viales y las tendencias en tecnologías de alimentación y eficiencia energética de los sistemas de propulsión de los vehículos; el impacto medido y el potencial de reducción de emisiones de GEI; y la contribución de las tendencias tecnológicas dominantes de los próximos años para alcanzar los acuerdos de desarrollo sostenible en México a diferentes niveles.

Este fortalecimiento está estrechamente vinculado con la propia tecnología, debido a que el fortalecimiento y los mecanismos deberán facilitar y agilizar la comunicación entre los responsables de gobierno y con los usuarios, en donde la cibernética de las operaciones impacta en la mejora de los servicios y productos hacia los ciudadanos y el avance tecnológico en los primeros niveles de automatización.

Por otra parte, esta acción está orientada en alguno de sus componentes hacia la reducción de los accidentes viales, las tendencias en tecnologías de alimentación y eficiencia energética de los sistemas de propulsión de los vehículos, el impacto medido y el potencial de reducción de emisiones de GEI.

En aspectos regulatorios, el sector obedece a diversas normatividades que, además de brindar solidez, apoyan en la construcción de una mayor competitividad, debido a los estándares mundiales en los que se encuentra inmersa esta actividad económica.

En ambos frentes, tanto carretero como ferroviario, los retos consisten en atender temas de movilidad sostenible, seguridad vial, estructuras económicas de operación más eficientes, inclusión de género y movilidad en la periferia, entre otros.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

El fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental presenta algunas barreras, debilidades y amenazas las cuales se presentan a continuación:



DEBILIDADES

- El enfoque multisectorial al elaborar estrategias y políticas nacionales, por ejemplo, la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME) se desarrolla alrededor de un enfoque de cambio climático donde los sectores que lideran son ambiente y transporte.
Sin embargo, es sumamente importante incluir la planeación energética del país al mismo nivel que estos otros dos sectores, ya que toda la infraestructura de carga depende de ello. La falta de coordinación intersectorial representa la gran debilidad en este tipo de acción.
- La limitada presencia de canales e instancias de coordinación entre las diferentes entidades gubernamentales donde se realizan intercambios de coordinación interinstitucional e intersectorial.



AMENAZA

- Existen cambios radicales en la visión de política nacional y de los tomadores de decisiones en los diferentes sectores por las dinámicas políticas democráticas naturales.
Esto sucede cuando existen cambios de gobierno a nivel Federal y de Estados y cuando se producen cambios estructurales dentro de las diferentes entidades. Igualmente, cuando un sector tiene visiones de política o prioridades que entran en conflicto con la visión del sector que lidera o promueve la transición tecnológica del transporte.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Tener un fortalecimiento en la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental puede brindar importantes oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto en el desarrollo de la transición tecnológica del transporte terrestre en México:



OPORTUNIDAD

- Cuando se fortalece la coordinación interinstitucional entre actores gubernamentales, se pueden crear políticas públicas con visiones más integrales.



FORTALEZA

- La alineación de conocimientos y estrategias de los distintos sectores de gobierno. Lo que evitará el choque de intereses entre los diferentes sectores y buscará siempre alinear objetivos y temas prioritarios alrededor de una política que pretende unificar los objetivos de país.



POTENCIALES DE IMPACTO

- Los grandes objetivos podrían alcanzarse de manera unificada y con propuestas de política más fuertes e integrales. Esto generará:
 - Eficiencia en el desarrollo de los proyectos que dan cumplimiento a la implementación de la política pública.
 - Eficiencia en la utilización de los recursos públicos, de cooperación y planeación.
 - Identificación de victorias tempranas en el desarrollo de estrategias y planes de mediano y largo plazos. Esto hará más visibles los futuros impactos de dichas estrategias y planes creando aceptación en la sociedad civil y la opinión pública.

5

ACCIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN

Rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones

Objetivos

Desarrollar procesos que permitan mejorar la velocidad sustancial de los procesos de elaboración, actualización y publicaciones de la actualización de regulaciones referentes a la infraestructura, los vehículos y la operación del transporte terrestre de pasajeros, de carga y mixto, derivados del desarrollo de nuevas tecnologías, lo que asegure los sistemas de propulsión, niveles de seguridad de los vehículos y antigüedad del parque vehicular y eficiencia.

Asimismo, la creación de marcos regulatorios de fomento al desarrollo, innovación y fortalecimiento de la industria automotriz y ferroviaria mexicana, a la transferencia de tecnología y el crecimiento de la inversión.

Descripción

La velocidad de introducción de nuevas tendencias tecnológicas ha aumentado en los últimos años. A nivel vehicular lo podemos encontrar en el sistema de propulsión y automatización que colocan nuevas condiciones y parámetros en relación con la responsabilidad del operador con los sistemas de conducción asistida y la posibilidad de circulación de los vehículos con fuentes alternas de energía.

Con relación a la infraestructura, las nuevas soluciones de Sistemas Inteligentes del Transporte (ITS, por sus siglas en inglés - *Intelligent Transport Systems*) y la evolución de la señalización horizontal y vertical, además de los controles de monitoreo y límites de velocidad presentan retos de homologación en relación con los sistemas internacionales de normas y reglamentos.

En el transporte carretero, en materia de seguridad se propone desarrollar, por parte de la autoridad, esquemas de incentivos para que el fabricante adopte especificaciones de tecnologías más avanzadas, en sistemas de seguridad, que las normadas actualmente.

En materia ferroviaria, las regulaciones ferroviarias presentan un atraso significativo derivado de los esquemas empleados para el otorgamiento de concesiones. Las regulaciones, de las actividades ferroviarias en México, incluyendo los proyectos, diseños, construcción, operación y mantenimiento, requieren de normativa ágil que fomente la modernización, innovación y asimilación de tecnologías que se están empleando en otros países y que garanticen la calidad desde la concepción de los proyectos ferroviarios hasta su operación.

Por otra parte, debe crearse un marco regulatorio que permita la entrada de nuevas tecnologías para la determinación, inspección y aseguramiento de las condiciones de la infraestructura ferroviaria y del material rodante. Además, debe favorecerse, mediante regulaciones la implementación de tecnologías de inspección, mantenimiento y conservación que permitirán contar con infraestructura de vía de calidad que mantenga condiciones homogéneas de mantenimiento, que impidan el deterioro y abandono del capital público y de los bienes nacionales.

La inclusión de nuevas tecnologías y métodos debe verse favorecida en los Procedimientos de Evaluación de la Conformidad de las regulaciones y normas, así como en la promoción de sistema de *Big Data* para el intercambio y monitoreo de las condiciones de la infraestructura, la detección de necesidades de mantenimientos y sistemas de aviso de riesgos potenciales.

El T-MEC impuso a México compromisos en materia de facilitación comercial, para los cuales es necesario rediseñar la normativa operativa y administrativa que aplica a las empresas mexicanas con aquella de nuestros socios comerciales, la cual tenga un enfoque de homologación tecnológica que permita una integración regional Canadá - Estados Unidos de América - México y asegure la interoperabilidad de los sistemas, particularmente los ferroviarios.

En relación con la normatividad del transporte ferroviario, se propone crear un comité para la revisión de la normativa actual encabezado por la Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (ARTF), con el propósito de proponer un proyecto de reglamento único de transporte que pueda establecer una hoja de ruta para proponer mecanismos de convivencia y comunicación entre los sistemas, con el fin de lograr una homologación de la normativa aplicable a la operación, a través de una revisión de la normativa internacional para definir mejores prácticas.

Estas acciones estratégicas parten de los consensos en las mesas de trabajo de los talleres y coinciden con las propuestas del Mapa de Ruta Tecnológica de México y las recomendaciones de acción de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).



Análisis de barreras, debilidades y amenazas

El rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones enfrenta una serie de barreras, debilidades y amenazas que han sido identificadas y que deben atenderse para poder ejecutar esta acción estratégica de manera exitosa:



BARRERAS

- Marco regulatorio ferroviario vigente y el sistema de concesiones actuales que dificultan la creación de administradores de infraestructura separados de los operadores, lo que obstaculiza el acceso a la infraestructura de otros operadores ferroviarios.
- Los procesos de cambios de paradigma, como obstaculiza una transición tecnológica, requieren de tiempos mayores a los que tienen en vigencia las visiones de política general. Es por esto que se hace necesario desligar este tipo de procesos de banderas políticas y generar continuidad en su implementación, la cual solo brindará beneficios a la población en general.



DEBILIDADES

- Capacidad de los entes que deben generar y actualizar las diferentes regulaciones y normativas a la velocidad que la transición tecnológica lo demanda. Esto ocurre, ya sea por la ausencia de profesionales entrenados en temas y tópicos específicos, o por el tamaño de los equipos que muchas veces se ven desbordados en su capacidad de atender estas necesidades.
- Dificultades que las normativas y regulaciones vigentes presentan ante la posibilidad de realizar modificaciones, actualizaciones y derogaciones. Estos trámites conllevan desgastes administrativos extensos que muchas veces exceden la capacidad y voluntad de las instituciones.
- Existen conflictos y contradicciones en las políticas de los diferentes sectores. Es difícil ponderar cuándo debe priorizarse un interés sectorial sobre otro, cuando ambos son importantes para el bienestar social, pero buscan medidas contrarias.
Por ejemplo, en Colombia, se emitió una regulación para promover la electromovilidad en el transporte público, pero, por otro lado, un decreto para impulsar el gas natural proponía cuotas obligatorias en la compra de autobuses nuevos a gas natural. Se identificó que eran medidas regulatorias contrarias en los objetivos de eficiencia de operación y política ambiental.

Este tipo de dilemas y choque de intereses, sin importar la decisión favorecida, siempre conllevará a un costo político y a análisis complejos para la toma de decisiones.



AMENAZAS

- El rediseño de los procesos de actualización de regulaciones es la incertidumbre jurídica y política que generan los cambios en la orientación de la política nacional, como resultado de las dinámicas naturales de la elección y cambio de gobiernos.
- Presiones económicas provenientes de los distintos sectores y gremios, las cuales generan necesidades y enfoques de política que pueden ser contrarios a las políticas necesarias para la transición tecnológica del transporte.
- Existe una baja evaluación de la conformidad. No solo es importante actualizar la normativa, sino también asegurarse de su adopción y cumplimiento. De lo contrario, todos los esfuerzos por rediseñar estos procesos de actualización de normativa no tendrán ningún efecto.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

A pesar de las barreras, amenazas y debilidades identificadas para esta acción estratégica, también se encuentran importantes oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto cuando se promueve el rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones:



OPORTUNIDAD

- Un marco regulatorio actualizado, consistente y coherente crea certidumbre jurídica, lo cual es clave para los inversionistas. Desligar la continuidad de las políticas y la regulación de las visiones y preferencias políticas, ciertamente crea un marco regulatorio propicio para la inversión al haber reglas establecidas del juego y una visión a futuro del sector que es claramente identificable.



FORTALEZA

- El dinamismo que generará la actualización de normativa en los diferentes procesos de transformación tecnológica. Tener un marco normativo habilitador permitirá poner a México al frente del impulso de la industria y la economía regional y global. Este tipo de impulsos permiten nuevas estrategias de crecimiento socioeconómico y la aparición y creación de nuevos sectores productivos.



POTENCIALES DE IMPACTO

- Contar con marcos jurídicos y normativos claros y actualizados permite que se genere un mayor respeto por los mismos. El respeto por estos marcos jurídicos y normativos habilitará la renovación y actualización del transporte terrestre de una manera ordenada y planeada. Adicionalmente, tener a todos los actores viales respetando y cumpliendo dichos marcos normativo se ve reflejado directamente en mejores índices de seguridad vial, defendiendo la vida como derecho fundamental primario.

A partir de la identificación de amenazas, debilidades y barreras de cada una de las acciones estratégicas para la transformación y de sus oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto se ponderó y valoró el impacto directo que tendrá cada una de estas acciones al cumplimiento de los objetivos del Mapa de Ruta Tecnológica de promover la transición tecnológica del transporte terrestre en México hacia un transporte moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo.

La siguiente figura muestra un mapa de priorización de acciones mediante la valoración del impacto vs. el costo o dificultad de implementación.

Figura 24

Mapa de priorización de las acciones estratégicas para la transformación del transporte terrestre en México



Como se ha mencionado, el impacto será frente a los objetivos planteados para el Mapa de Ruta Tecnológica y los costos o dificultades de implementación son valorados en términos económicos, costos políticos, dificultad de concertación y articulación de actores e iniciativas, largos tiempos de implementación y seguridad en la continuidad de las acciones a largo plazo, entre otros.

En el mapa de priorización de las acciones estratégicas para la transformación puede apreciarse que el **fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental** y la **planeación estratégica de gran visión del transporte** son las acciones prioritarias al tener un mayor impacto con unos costos asociados más bajos.

Se ha valorado que **fortalecer la coordinación interinstitucional e intersectorial en el gobierno** es lo que desencadena que los demás procesos y acciones sean posibles. Sin esta articulación de actores gubernamentales es imposible realizar una planeación estratégica de gran visión, la creación de un observatorio de transporte que cuente con información veraz, relevante y actualizada, y rediseñar los procesos de actualización de las regulaciones.

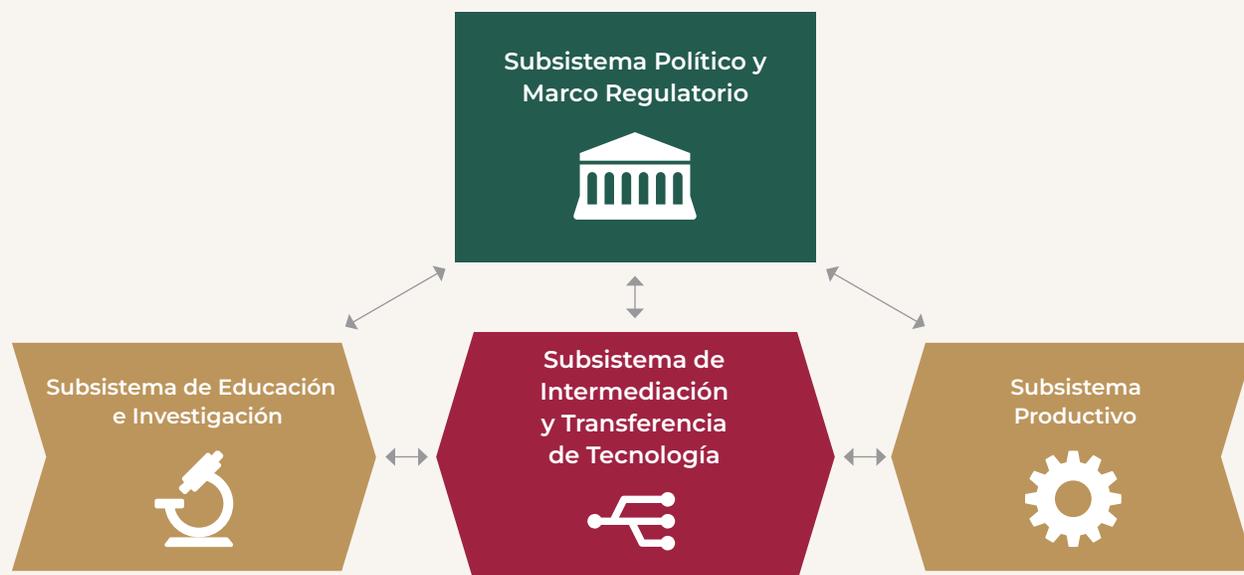
Por lo anterior, se considera que esta acción estratégica es prioritaria y el costo es medio en el sentido que depende de un esfuerzo y una voluntad manifiesta de colaborar, coordinar y articular esfuerzos con otros actores de gobierno.

El hablar de una transición tecnológica inherentemente plantea incorporar o integrar ese tipo de tecnologías dentro del Sistema de Innovación Nacional (SIN), el cual está ligado a cuatro subsistemas, como se muestra en la **Figura 25**.



Figura 25

Los cuatro subsistemas de los SIN



Fuente: Sistema de Innovación Nacional (Salazar, 2019).

Dentro del SIN el subsistema político y de marco regulatorio es transversal y crea las condiciones propicias para el funcionamiento adecuado de los otros tres subsistemas, sin embargo, la interconexión y la interdependencia entre todos los actores que integran los SIN resultan críticas. Estos actores incluyen a todos los actores de la cuádruple hélice: gobierno, academia, sector privado y sociedad civil (Salazar, 2019).

Es por esto que esta articulación inicial dentro de actores de gobierno es primordial para catalizar la transición tecnológica en el sector transporte, porque el éxito de tener un sistema y un marco regulatorio transversal coordinado, facilita los procesos e interacciones con el resto de los subsistemas.

Esta coordinación institucional supone el esfuerzo de crear los espacios y canales de colaboración y comunicación propicios para fomentar dichas interacciones. Esto puede incurrir en desgastes administrativos al tener que formalizar, vía regulación, algunos de estos espacios o grupos de trabajo.

Es por esta razón que se plantea la creación de estos espacios y comisiones intersectoriales donde se den discusiones, establezcan planes de acción y metas en conjunto entre los diferentes entes de los diferentes sectores para lograr crear un marco normativo propicio y una integración en el SIN que permita una transición tecnológica adecuada.

La **planeación estratégica de gran visión** del transporte es la segunda acción para priorizar dentro de las acciones de transformación, ya que de este gran plan se derivarán las visiones y esfuerzos coordinados de todos los actores dando fin a los esfuerzos aislados e individuales de las diferentes entidades y actores del transporte terrestre.

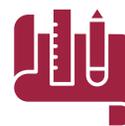


Como resultado de la acción de fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental, se propone la creación de espacios y comisiones intersectoriales de las cuales debe nacer esta planeación estratégica de gran visión.

La planeación estratégica de gran visión debe incorporar un enfoque de combinación de políticas o *policy mix*. El *policy mix* incentiva “la combinación adecuada de políticas e instrumentos que involucren igualmente varios sectores para estimular el desarrollo e integración” de tecnologías dentro del SIN (Salazar, 2019).

Es decir, que la planeación estratégica de gran visión debe incluir en su discusión y formulación la visión de todos los sectores relevantes y de todos los actores de la cuádruple hélice. Sin embargo, este tipo de formulaciones de grandes políticas estratégicas y planeación de gran visión requieren de un gran liderazgo por parte del sector público.

El gobierno debe liderar las discusiones en donde, primero, se establece una visión y a partir de esta es que emerge la planeación estratégica del sector transporte terrestre; enriquecida no solo de los actores del autotransporte y el transporte ferroviario, sino también de la academia, el sector privado y la sociedad civil.



La ejecución exitosa de las dos acciones para la transformación que han sido identificadas como prioritarias dan paso a la acción estratégica del **rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones**. Como pudo establecerse en el análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas simple de esta acción estratégica, el gran impacto de actualizar la normativa y la regulación adecuadamente permite tener marcos normativos y de negocio estables y adecuados para promover la transición tecnológica.

Por esta razón, en el rediseño de dichos procesos para la actualización de regulaciones debe tenerse en cuenta la combinación de políticas horizontales y verticales.

Las políticas horizontales son aquellas que buscan impactar una base amplia de sectores y de la economía creando condiciones marco habilitantes para la transición tecnológica dentro de la planeación de gran visión.

Estas políticas son más generales y plantean sentar condiciones comunes a nivel de país, en donde en su formulación se involucran diferentes actores y sectores tanto de gobierno como de la economía nacional. Esto para mantener siempre un enfoque de la potenciación de los cobeneficios de la transición tecnológica a nivel de competitividad de los sectores productivos, sostenibilidad ambiental, seguridad energética, salud pública y bienestar social y económico, entre otros.

Por otra parte, las políticas verticales se enfocan en sectores y áreas tecnológicas específicas. Estas pueden ser más específicas del autotransporte o del transporte ferroviario o, inclusive, en la normativa técnica de la aplicación de una tecnología particular (Salazar, 2019).

La combinación de políticas horizontales y verticales coordinadas entre sí es lo que hará que la acción estratégica de rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones pueda implementarse de manera exitosa con el fin de promover la transición tecnológica en el transporte terrestre.

Esta acción puede tener un impacto semejante al de la planeación de gran visión en los objetivos del Mapa de Ruta Tecnológica, no obstante, su costo de implementación es mayor, ya que se da como resultado natural del éxito de las primeras acciones estratégicas mencionadas.

En cuarto lugar, **la creación de un observatorio del transporte terrestre en México** tiene un impacto medio, no porque no sea relevante, sino porque se da más como resultado de una transición tecnológica exitosa hacia un transporte terrestre moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo.



El éxito y la eficacia del Observatorio del Transporte Terrestre depende de la calidad y la cantidad de información que pueda recibir, procesar, analizar y reportar. Si no existe la implementación de tecnologías adecuadas para la captura de datos de manera precisa y veraz, su finalidad y propósito se ven seriamente afectados.

Es por esta razón que se considera que conlleva un alto costo de implementación por toda la inversión en adopción tecnológica que se debe hacer y su impacto va directamente relacionado con los cobeneficios de la transición tecnológica, más que a promover la transición *per se*.

Los grandes beneficios que traerá el observatorio se verán reflejados en el aumento en la seguridad vial; reducción de accidentes; mejoras sustanciales en la calidad de los servicios de transporte, tanto de pasajeros como de mercancías; identificación de elementos de riesgo dentro de la cadena de valor del transporte terrestre; entre otros.

Por último, el **establecimiento de clústeres y redes** tiene un alto costo de organización o desgastes administrativos dentro de los distintos actores de los gremios, la academia y la sociedad civil. Es difícil alinear intereses y objetivos de actores independientes que no se rigen bajo visiones estratégicas como sí lo hacen las entidades de gobierno.



Estos clústeres y redes, tal como muestra la **Figura 25**, forman parte de los subsistemas que dependen de la política y el marco regulatorio, ya que este dicta las reglas del juego y el marco de acción al cual deben obedecer. Es por esta razón que se considera que su impacto es menor que el del resto de acciones estratégicas, sin embargo, estos no pueden ser ignorados ni subestimados.

Mantener comunicación entre los actores que operan en la práctica los distintos sistemas y servicios de transporte terrestre, puede terminar traduciéndose en grandes avances hacia la integración, la intermodalidad y generar eficiencias que resultan en alta competitividad, no solo para el transporte terrestre sino para los sectores productivos que dependen de este.

Acciones para la integración

En México, el transporte de mercancías tiene una relación aproximada donde por cada cinco millones de toneladas transportadas por carretera, solo un millón de toneladas es transportada por vías férreas de acuerdo con las estadísticas de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT, 2021). Lo anterior refleja una oportunidad de desarrollo para el aprovechamiento de la integración del transporte carretero y ferroviario para hacer más eficientes las operaciones logísticas nacionales e internacionales.

La integración modal debe de traducirse en diferentes acciones estratégicas que utilicen los avances tecnológicos actuales disponibles e impulsen las innovaciones futuras para cumplir con el objetivo estratégico de atender las necesidades actuales y futuras que tienen las zonas de producción, los mercados de consumo y los puntos de conexión con la red internacional de intercambios comerciales y puertos industriales.

Las acciones están enfocadas a **INTEGRAR** el transporte terrestre ferroviario, carretero e intermodal, para una **operación coordinada eficiente**, donde cada modo de transporte atienda de manera adecuada y óptima el nicho de tipo de carga, demanda y distancia que le corresponde.



Priorización del uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible



Automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase



Modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías



Plan de transición gradual de modernización de las redes de comunicación de alta velocidad



Plataformas de gestión de bases de datos consolidadas



Diseño e implementación de una estrategia de ciberseguridad y el desarrollo de normas asociadas

1



ACCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN

Priorización del uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible

Objetivo

Identificar la tecnología disponible, sus limitaciones y ventajas para optimizar las condiciones actuales en que se realiza el transporte, de tal manera que permita en el corto plazo la amortización y capitalización hacia las inversiones tecnológicas futuras.

Descripción

Esta acción estratégica consiste en la identificación de las áreas de mejora iniciales y de corto plazo que permitan incrementar la eficiencia mediante acciones sobre la organización, la operación y el aprovechamiento de las condiciones tecnológicas que exijan la integración multimodal.

En materia de **transporte terrestre de carga**, la estrategia consiste en identificar y reconocer que el transporte ferroviario tiene mayores ventajas en eficiencia, capacidad y menor huella de carbono. En este sentido, se estima que un incremento de 5% en la participación modal del transporte ferroviario de carga retiraría de las carreteras a cerca de 41,000 unidades de carga y evitaría la emisión de casi 90 millones de toneladas de CO₂ anuales reduciendo además al menos 400 accidentes vehiculares.

Enfocar los esfuerzos tecnológicos de inversión en innovación y, en general, las acciones estratégicas de este mapa, hacia la integración más eficiente de las redes ferroviarias y las redes carreteras, facilitará alcanzar las metas de asimilación tecnológica, sustitución de vehículos y sustentabilidad en un periodo menor, brindando, además, los beneficios sociales, económicos y ambientales que se exigen en el contexto actual.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Para esta primera acción estratégica que busca promover la integración, se analizaron las siguientes barreras, debilidades y amenazas:



BARRERAS

- Homologar criterios de priorización. Es difícil establecer criterios generales y comparables para todas las tecnologías existentes por la heterogeneidad que existe entre estas y los subsectores. Un criterio seleccionado para priorizar algunas tecnologías en un subsector específico de autotransporte puede que no sea aplicables a ciertas tecnologías del transporte ferroviario.
- Alineación y articulación de actores para generar consensos. Esta dificultad es igual a la encontrada en las acciones de transformación. Al haber diversos actores relevantes con objetivos e intereses distintos, poder lograr consensos y acuerdos sobre elementos y criterios de priorización puede presentar una barrera importante a la hora de implementar esta acción estratégica.
- Continuas actualizaciones y revisiones, ya que los adelantos tecnológicos van cambiando rápidamente y pueden causar que esta acción de priorización inicial quede en desuso o ya no sea relevante en un corto periodo.



DEBILIDAD

- Algo que debe evitarse en este tipo de acciones es cerrar el desarrollo y la innovación, decantándose por una tecnología particular, lo que generaría bloqueos tecnológicos. Hoy en día la gran disponibilidad de soluciones tecnológicas diferentes para un mismo problema hace necesaria la creación de condiciones que fomenten la competencia y la innovación, sin cerrarse a una solución única y particular.
Es necesario entender que la innovación puede crear la necesidad de regulación y marcos habilitantes, sin embargo, se debe cuidar que no se extienda al punto de direccionar la normativa técnica y el cierre de la libre competencia.



AMENAZA

- El impacto final y efectivo que puede tenerse sobre la transición tecnológica va a depender del seguimiento de las acciones posteriores y resultantes. Es decir, pueden priorizarse ciertas tecnologías, pero si en la práctica no se promueven, no se percibirán impactos reales.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Tener una priorización del uso eficiente y efectivo de las tecnologías disponibles presenta una serie de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto que se señalan a continuación:



OPORTUNIDAD

- Es el inicio del cambio hacia un transporte realmente integrado. Esa identificación de tecnologías y su priorización es lo que trazará la orientación de los esfuerzos de los distintos actores que se verán beneficiados por un transporte terrestre integrado.



FORTALEZA

- Bajo costo de implementación.
- Tener una mesa de agentes económicos estables orientados hacia prioridades comunes de desarrollo tecnológico, permite que sea mucho más fácil regular y crear normativas alrededor de las tecnologías de integración.



POTENCIALES DE IMPACTO

- Muestra el camino de la evolución y lo deseable para el transporte terrestre en cuanto a su integración.
- Presenta las bases del trabajo común y permite homogenizar los esfuerzos al sentar a todos los actores relevantes del autotransporte y el transporte ferroviario en la misma mesa, en lugar de tener esfuerzos divididos en la implementación y transición tecnológica de los dos subsectores.

2

ACCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN

Automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase

Objetivo

Impulsar la inclusión de tecnologías robóticas en las operaciones de carga, descarga, reubicación, almacenamiento o tranvases en las terminales intermodales, los puertos secos, las terminales especializadas y en los trasvases entre diversos modos de transporte.

Descripción

Esta estrategia resulta fundamental y puede ser el punto central de las acciones de integración. Para poder incrementar la operación integral de los modos de transporte terrestre y con los modos de transporte marítimo de cabotaje y de altura, se requiere del incremento de la tecnología empleada en las terminales intermodales, los puertos secos, terminales especializadas y centros de transvase.

Las instalaciones mencionadas constituyen los nodos de una red multimodal terrestre-marítima que puede facilitar, dificultar o hacer anticompetitivo el paso de un modo de transporte a otro, la robotización o automatización de los procesos en estas infraestructuras, así como la tecnificación de los procesos constructivos de las mismas, aceleran su desarrollo, multiplicación y mejora su eficiencia.

Reconocer las ventajas que cada modo de transporte brinda, a través de la facilitación tecnológica del intercambio modal constituye una estrategia que garantizará que otros cambios tecnológicos aplicados a los modos de transporte de forma independiente tengan mayores efectos, potencializando la integración tecnológica y la innovación.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Para la automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase se identificaron las siguientes barreras, debilidades y amenazas:



BARRERA

- Dificultad en el acceso a una financiación para este tipo de proyectos. La naturaleza de los proyectos y sus modelos de negocio muchas veces requieren de tasas, plazos y condiciones que no son las que ofrece normalmente la banca.



DEBILIDADES

- Falta de conocimiento o de identificación de líneas o acceso a financiamiento. Muchas veces existen convocatorias e iniciativas de banca de desarrollo o banca multilateral para promover este tipo de tecnologías, pero se dan a conocer de manera tardía o no se cuenta con las capacidades dentro de las instituciones necesarias para formular los proyectos.
- Dificultad en alinear la planeación del transporte ferroviario con la planeación del autotransporte en los distintos proyectos de inversión. Esta articulación es sumamente necesaria para que los proyectos tengan un enfoque real orientado a la integración del transporte terrestre.



AMENAZA

- La motivación que lleva a tomar decisiones de inversión en este tipo de tecnologías. El no tener incentivos específicos que hagan los proyectos bancables, la falta de conocimiento específico de las tecnologías y la inexperiencia en inversiones de este tipo, genera un escenario de riesgo para los inversionistas.
Por otra parte, quienes sí cuentan con el conocimiento técnico adecuado muchas veces tienen otras prioridades en sus planes de inversión hacia mejoras en la operación, mantenimiento, entre otros ámbitos.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto que puede traer la implementación de esta acción son múltiples, de gran impacto y se presentan a continuación:



OPORTUNIDADES

- Como se ha discutido anteriormente, muchas veces el desarrollo tecnológico y la adopción de nuevas tecnologías van más adelantados a la regulación y la política pública vigente. Esta acción particular genera la creación de marcos normativos y de negocio propicios para promover la integración del transporte terrestre. Contar con actores modernizando terminales y puertos puede servir para identificar las necesidades de regulación y normativa para lograr incentivar inversiones en este tipo de proyectos.
- Puede identificarse una oportunidad para la creación de Asociaciones Público-Privadas (APP) para poder desarrollar este tipo de iniciativas, las cuales han demostrado ser efectivas en el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura en América Latina.



FORTALEZAS

- Se aumenta la eficiencia en los procesos de recepción y entrega de mercancías, se simplifican los trámites de aduana y existirá un mayor control de las mercancías transportadas. Esto, indudablemente, resulta en servicios más seguros, competitivos y eficientes, lo cual directa e indirectamente mejora las condiciones de competitividad de los sectores productivos del país.
- Ofrece mayor transparencia en el transporte de mercancías de cara a los usuarios y los clientes finales.



POTENCIAL DE IMPACTO

- Ayuda a reducir la pérdida de contenedores de mercancías, fortaleciendo la calidad de los servicios de transporte de mercancías. Esto ayuda a crear confianza en los prestadores de servicios de transporte al generar condiciones de mayor seguridad para las mercancías transportadas.

3

ACCIÓN PARA LA INTEGRACIÓN

Modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías

Objetivo

Impulsar una trazabilidad precisa, a través de un monitoreo constante y confiable de la carga dentro de las operaciones logísticas, permitirá construir bases de información interconectadas que podrán analizarse para que los gobiernos tomen decisiones para el desarrollo de políticas y programas que impacten de forma positiva a los procesos de las empresas, centros logísticos y regiones comerciales del país.

Descripción

La cibernética de las operaciones impulsada por el *Big Data*, el Internet de las cosas (IoT), el Blockchain y la Inteligencia Artificial (IA) ofrecen herramientas tecnológicas que comienzan a utilizarse en las operaciones logísticas con resultados favorables, y se proyecta que su uso se intensificará cada vez más en el sector (PwC, 2019).

La implementación de estas soluciones tecnológicas necesita una modernización del parque vehicular; modificaciones en la infraestructura, principalmente en los sistemas de comunicación; y nuevos procesos para el control de las operaciones y gestión de riesgos (Calatayud & Montes, 2021). El impacto de esta tecnología puede agilizar la integración de información sobre los puntos críticos en el territorio, la utilización de los corredores viales y ferroviarios, la densidad y comportamiento del transporte de carga a lo largo de un periodo e información agregada de los datos digitales asociados con documentos del transporte y las mercancías (Calatayud & Montes, 2021).

Plan de transición gradual de modernización de las redes de comunicación de alta velocidad

Se espera construir un plan coordinado entre el gobierno y las empresas con el objetivo de modernizar e incrementar la cobertura de las redes de comunicación de las vías carreteras y férreas logrando una conectividad permanente durante todo el recorrido en redes de alta velocidad y gran capacidad de transmisión de información.

Este plan debe sustentarse en estándares internacionales, como la Norma ISO-15638, para la construcción de las regulaciones específicas para México, donde se determinen metas en cuanto a los niveles de cobertura y modernización. El plan debe considerar la implementación de sistemas de monitoreo dinámico de la calidad de los sistemas de comunicaciones y cobertura en la red carretera, desarrollando mapas que permitan monitorear la calidad y niveles de cobertura de las redes implementadas como las de telefonía celular concesionada (SICT, 2021).

Plataformas de gestión de bases de datos consolidadas

Desarrollar desde el ámbito gubernamental los lineamientos para la construcción de plataformas que posibiliten el intercambio de datos entre el gobierno, las empresas logísticas, las empresas propietarias de la mercancía y las empresas fabricantes de los vehículos. Esto permitirá, entre otras cosas, la implementación de sistemas matemáticos de densidad de flujo, logrando un equilibrio del uso de la infraestructura.

Diseño e implementación de una estrategia de ciberseguridad y el desarrollo de normas asociadas

Es necesario establecer los lineamientos para la seguridad informática, priorizando las necesidades urgentes dentro de la modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías. Estos lineamientos pueden comenzar con programas de concientización de los riesgos, mediante la publicación de documentos de buenas prácticas para fomentar un mayor interés del tema, facilitando el desarrollo e implementación de las normas específicas para el intercambio de datos entre los vehículos, la infraestructura y los usuarios.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

La modernización de los sistemas de rastreo y seguimiento de mercancías al ser una acción de implementación tecnológica y de ejecución de proyectos comparte las mismas barreras de la acción estratégica de automatización de terminales y puertos (página 144). Por esta razón, pueden tomarse estas barreras, debilidades y amenazas como un análisis compartido para ambas acciones.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Al igual que con las barreras, debilidades y amenazas, también las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto de ejecutar esta acción estratégica son compartidas con la acción de automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase (página 145).

Sin embargo, para el caso de esta acción específica se fortalecen aún más los beneficios y fortalezas en cuanto a transparencia, seguridad y mejoras en la calidad de los servicios de transporte de mercancías.

Priorización de las acciones para la transformación

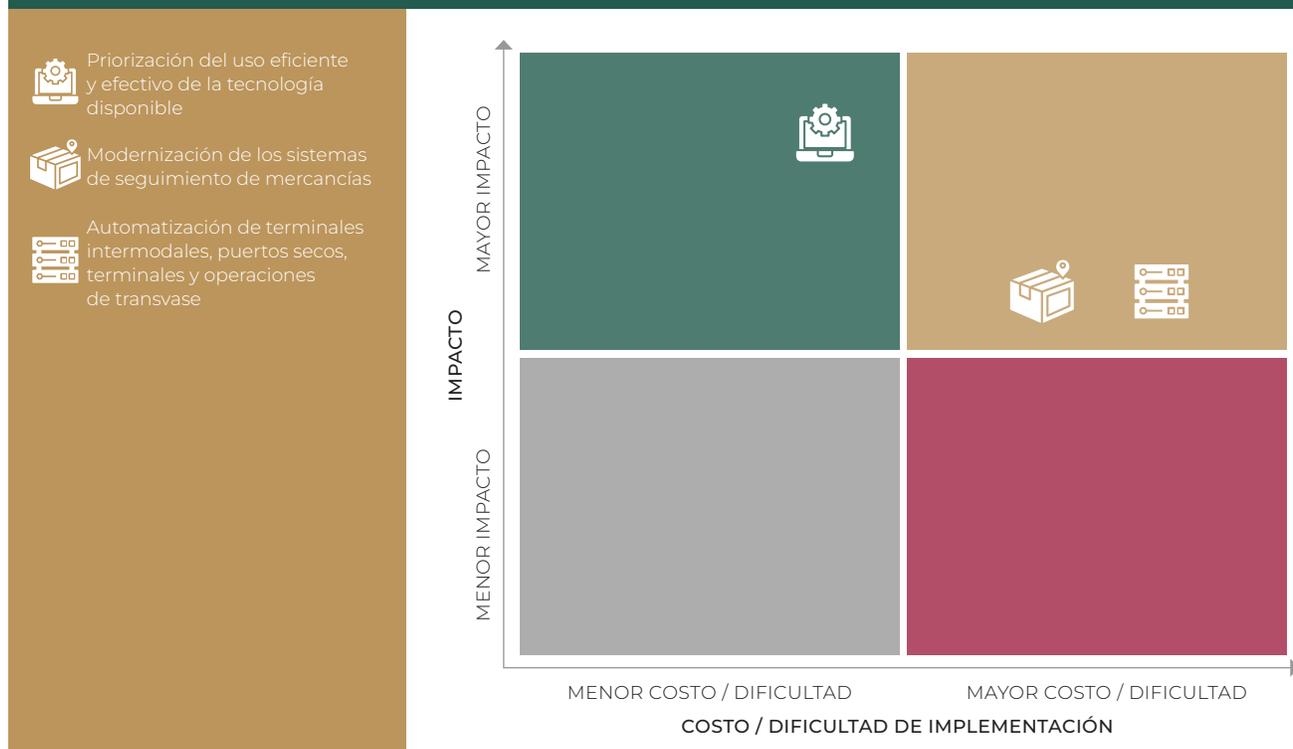
A continuación, se presenta el ejercicio de priorización de las acciones estratégicas para la integración del transporte terrestre en México.

Al igual que con las acciones para la transformación, se evaluó el impacto que tendrá cada una de ellas en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre.

Asimismo, se pondera su costo de implementación, el cual puede ser económico y político; se presenta la dificultad de concertación y articulación de actores e iniciativas, los largos tiempos de implementación y la seguridad en la continuidad de las acciones a largo plazo, entre otras circunstancias.

Figura 26

Mapa de priorización de las acciones estratégicas para la integración del transporte terrestre en México



Dentro del análisis para construir el mapa de priorización de las acciones estratégicas para la integración se tuvo en cuenta que dos de las acciones planteadas son totalmente complementarias y presentan el mismo conjunto de debilidades, amenazas y barreras, así como el mismo conjunto de fortalezas, oportunidades y potenciales de impacto. Es por esto que, al final, se decidió agrupar estas dos acciones dentro del ejercicio de priorización, ya que tendrán el mismo impacto y los mismos costos asociados de implementación.

Esta consideración obliga a ponderar entre la acción de priorización del uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible, frente a estas dos acciones más orientadas a la implementación de tecnología en diferentes eslabones de la cadena de valor del transporte terrestre, sobre todo el transporte de carga.

Dentro de las acciones estratégicas para la integración resulta preponderante la **priorización del uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible**. Se considera que esta acción tiene un gran impacto, ya que desencadena la planeación y orientación de los esfuerzos de las acciones de actualización y modernización de las que hablan las otras.



Sin una adecuada priorización del uso efectivo y eficiente de la tecnología actual, es difícil entender qué eslabones de la cadena de valor del transporte terrestre requieren mayor atención en lo que respecta a inversión e implementación de actualizaciones y modernizaciones tecnológicas.

Algo de suma importancia al realizar los ejercicios de priorización y selección de sectores y áreas tecnológicas disponibles a las cuales se deben potenciar, es que dicha priorización mantenga en estrecha correlación las políticas nacionales, los objetivos socioeconómicos y la política resultante de la aplicación de las acciones de transformación.

Las acciones de transformación, en su ejecución, darán como resultado planeaciones de gran visión y un rediseño de las políticas y las regulaciones que deben determinar los criterios adecuados y apropiados para priorizar el uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible.

Existen diversos modelos y metodologías de priorización; sin embargo, más importante que definir si un modelo metodológico es preferible, lo es establecer el fin del ejercicio de priorización y los resultados que se quiere obtener. Esos resultados esperados son los que deben determinar y guiar el enfoque metodológico y no lo contrario.

Esta acción podría considerarse el puente que existe entre las acciones de transformación y las de integración, que en definitiva resulta en una articulación de las distintas líneas de acción para el cumplimiento del Mapa de Ruta Tecnológica propuesto para el Transporte Terrestre en México.

Al igual que con las acciones de transformación, la de priorización debe incluir una visión multisectorial y de múltiples actores, pero siempre teniendo como eje las grandes políticas nacionales y sus objetivos, como el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes.

Alinearse con estos marcos de política, además de las regulaciones que surjan de las acciones de transformación, garantizará que las acciones resultantes de la priorización den continuidad a los esfuerzos nacionales realizados no solo para lograr una transición tecnológica del transporte, sino para alcanzar objetivos superiores ligados al bienestar social y económico de la población. Es por esto que esta acción se considera de alto impacto y su costo de implementación es relativamente bajo.

En el caso de la **automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase y la modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías**, se trata de acciones de alto costo e impacto medio, dado que dependen de las inversiones, el financiamiento y la ejecución de proyectos en los eslabones de la cadena de transporte terrestre mencionados.

En este sentido, estas acciones no representan un impulso a la transición tecnológica del transporte terrestre en México, sino que son la transición tecnológica en sí.

Una vez superada esta transición, producirá como beneficio la manifestación de un transporte terrestre integrado, moderno y eficiente.

Por esta razón es que se ha ponderado un impacto medio, ya que no promueve la transición tecnológica *per se*, sino que su avance revela el estado de la transición misma y, como resultado, produce la integración entre los modos de transporte ferroviario y el autotransporte, sobre todo en el transporte de mercancías.

Como se menciona en el análisis de amenazas, debilidades y barreras, el éxito de esta acción dependerá de las inversiones a realizar, los proyectos ejecutados y la interacción de actores ferroviarios y de autotransporte durante la formulación de estos proyectos para incluir una visión de integración.

Para ello, se requiere de esfuerzos más allá de formar y educar a los formuladores de proyectos, también es necesario formar a la academia para adoptar una visión completa del transporte terrestre donde se capaciten profesionales con enfoques de integración y no solamente especialistas de transporte ferroviario o autotransporte. Además de la adopción de nuevos modelos de negocio por parte de actores que eran netamente de autotransporte o de transporte ferroviario.



Como ejemplo pueden tomarse las distintas dinámicas que han resultado de la transición energética en Latinoamérica donde empresas con una larga tradición petrolera y de hidrocarburos como el Ecopetrol en Colombia o ANCAP en Uruguay ahora le apuestan a las energías renovables y al hidrógeno verde.

Estas acciones rompen con la narrativa en la que los actores del sector hidrocarburos están naturalmente enfrentados al desarrollo de tecnologías de energía sostenible y sus aplicaciones. Igualmente, puede verse a través de la región cómo las empresas de energía eléctrica ahora participan del sector transporte de manera activa con la introducción de la movilidad eléctrica.

La **movilidad eléctrica** obligó a las empresas de energía eléctrica a reformular sus modelos de negocio, integrar equipos expertos en transporte y movilidad, y crear nuevas líneas de negocio y operación que años atrás eran impensados para este tipo de empresas, ya que no había una interseccionalidad entre el sector eléctrico y el sector transporte.

Asimismo, deben generarse incentivos y las condiciones habilitantes que fomenten que las empresas de autotransporte y de transporte ferroviario trabajen hacia modelos de negocio y servicios de transporte terrestre integrado.

Acciones para impulsar el desarrollo competitivo

Las acciones están centradas en **IDENTIFICAR** nichos de oportunidad para el **desarrollo y la aplicación de la tecnología**, que incentiven e impulsen el desarrollo competitivo de la industria automotriz de vehículos pesados y ferroviaria nacionales, con visión de sustentabilidad y energías renovables, integrando la **participación** de centros de investigación y universidades **para la innovación**, el desarrollo tecnológico y la **formación post profesional especializada**.



Integración de cadenas de valor agregado en el sector transporte



Mejoramiento de la eficiencia en la tecnología existente



Implementación de un sistema BIM en el transporte terrestre nacional



Homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC



Educación tecnológica en materia de transporte

1

ACCIÓN PARA IMPULSAR
EL DESARROLLO COMPETITIVO

Integrar cadenas de valor agregado en el sector transporte

Objetivo

Integrar las cadenas de valor que conforman las empresas de materiales, de fabricación, proveeduría de servicios, *marketing*, entre otras, en el sector de transporte terrestre, las cuales permitan la integración de las innovaciones tecnológicas en la cadena global de valor considerando la finalidad del Tratado México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC).

Descripción

Esta estrategia pretende agrupar a los actores económicos y sumarlos al cambio tecnológico a partir de la identificación de las potencialidades, beneficios económicos y de competitividad que pueda brindar la tecnología a toda la cadena de valor.

Esto permitirá generar sinergias con fabricantes, las industrias que los utilizan y adaptar la oferta a las necesidades de los consumidores finales, impulsando la economía del sector, la competitividad y generar una mejora en la calidad del servicio ferroviario de pasajeros y carga para ofrecer servicios más competitivos mediante soluciones tecnológicas (MAFEX, 2015).

Innovación tecnológica

La estrategia fomentará la innovación tecnológica (*Big Data*, Inteligencia Artificial, Block-Chain, etcétera) en la cadena de valor por medio de regulación, de tal forma que las empresas de la industria ferroviaria utilicen desarrollos tecnológicos para agilizar sus procesos de producción de una manera sustentable.

Sector ferroviario

La cadena de valor en este sector se integra por un conjunto de cadenas de valor, las cuales describen el modo en que se desarrollan las acciones y actividades de las empresas ferroviarias. Estas se conforman por actividades primarias, enfocadas en la fabricación, construcción, distribución de un producto y las actividades de soporte de carácter administrativo y tecnológico con el objetivo de dar un valor agregado al usuario y prestar un servicio de pasajeros o carga competitiva.

El Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá busca integrar la zona comercial y facilitar el flujo de mercancías, lo que no sólo favorecerá las exportaciones entre los tres países firmantes, sino que también representará un impulso para el transporte ferroviario transfronterizo.

El sistema de control ferroviario (PTC, por sus siglas en inglés - *Positive Train Control*) es un sistema de monitorización y protección de trenes, específicamente diseñado para detener un tren antes de que pueda ocurrir un accidente, tal es su importancia que es esencial para homologar la tecnología entre los países involucrados (Cámara Nacional de Autotransporte de Carga [CANACAR] 2020).

En las últimas décadas, se está transitando hacia lo digital, permitiendo una innovación tecnológica, la cual tiene por objeto transformar y agilizar los procesos de cada uno de los integrantes que conforman el sector ferroviario en la cadena de valor (INAES, 2021).

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Integrar cadenas de valor agregado en el sector transporte tiene algunas barreras, debilidades y amenazas que se muestran a continuación:



BARRERA

- El cumplimiento del T-MEC puede generar presiones que nacen de exigencias en el tratado que no necesariamente han revisado las realidades y el desarrollo del sector de transporte terrestre en México. Esto puede ocasionar que se sobrepongan intereses regionales sobre necesidades nacionales.



DEBILIDAD

- Costos elevados que deben ser asumidos por actores nacionales para atender compromisos regionales, los cuales pueden no beneficiarse de los impactos de sus inversiones y esfuerzos.



AMENAZA

- Realizar saltos tecnológicos incompletos y no efectivos a lo largo de las cadenas de valor. Es decir, que se enfoquen esfuerzos en un eslabón específico, pero sin un desarrollo paralelo en el resto de la cadena de valor, por lo que los esfuerzos realizados quedan incompletos y no logran el impacto deseado.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Dentro de las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto de esta acción se encuentra que:



OPORTUNIDAD

- Recoger los resultados del resto de acciones estratégicas de transformación e integración.



FORTALEZA

- La implementación de esta acción es la manifestación de una transición tecnológica efectiva. Contar con un transporte terrestre con cadenas de valor modernizadas e integradas constituye, tal vez, el fin último del Mapa de Ruta Tecnológica y, por ende, es la manifestación de haber ejecutado de forma exitosa el resto de las acciones estratégicas.



POTENCIAL DE IMPACTO

- Esta acción, al ser implementada, representa un impulso a la competitividad de la economía nacional. Tener cadenas de valor agregado integradas y modernizadas es algo que sin duda se verá reflejado en la competitividad, la mejora en la calidad de los servicios y el bienestar de la sociedad en general.



2

ACCIÓN PARA IMPULSAR
EL DESARROLLO COMPETITIVO

Mejoramiento de la eficiencia en la tecnología existente

Objetivo

Impulsar proyectos categorizados, prioritarios y socialmente rentables, que mejoren de manera sustanciosa la operación de la red global de transporte terrestre como un sistema único, sumando los beneficios de dichos proyectos carreteros o ferroviarios que parten de una priorización común.

Descripción

Al tener presentes las condiciones actuales, contar con las redes y clústeres de transporte, además de una planeación estratégica de largo plazo, pueden crearse los catálogos de proyectos prioritarios que mejoren la eficiencia global de la red de transporte terrestre.

Las estrategias de mejora en la eficiencia son diferentes entre el autotransporte y el transporte ferroviario, y se determinan por sus capacidades de carga, montos de inversión y modificaciones en la infraestructura.

Otros proyectos de mejora de la eficiencia energética pueden orientarse en mejorar, a través de baja inversión, los mecanismos de suministro de energía que se emplea en el transporte.

En el caso del transporte ferroviario, estos proyectos se observan en las tecnologías diésel-eléctricas de alta eficiencia, que podrían generar ventajas en la eficiencia, evitando hacer inversiones en sistemas ferroviarios eléctricos de catenaria que pueden resultar altamente costosos y cuya amortización de inversión puede hacerlos prohibitivos.

Considerando que, en el largo plazo, los sistemas ferroviarios totalmente eléctricos serán soportados por baterías y no requerirán catenarias gracias a las capacidades de almacenamiento que se tienen proyectadas.

Esto lleva a que el mejoramiento de los vehículos diésel-eléctricos actuales, en su eficiencia, tengan beneficios mayores que el reemplazo a sistemas eléctricos totales de catenaria en términos de costo-beneficio.

De ahí que las acciones de impulso al desarrollo partan de las acciones de integración descritas en el apartado Priorización del uso eficiente y efectivo de las tecnologías disponibles (página 140), y que se pone en marcha en esta acción de mejora.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Las barreras, debilidades y amenazas identificadas para esta acción estratégica son:



AMENAZAS

- Una ausencia de coordinación entre los actores de la cuádruple hélice que afecta la competitividad de la investigación, desarrollo e innovación (ID+i) en México. La ID+i en México puede no solo potenciar la transición tecnológica del sector de transporte terrestre, sino también la robusta e importante industria automotriz del país.
- Los proyectos que se encuentran en formulación que podrían verse beneficiados de una actualización tecnológica en sus especificaciones. La amenaza identificada trata sobre los tiempos que una reformulación de proyectos puede suponer y la compatibilidad de las tecnologías propuestas para no modificar el proyecto de manera sustancial.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

A continuación, se presentan las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto:



OPORTUNIDAD

- Planeación del transporte terrestre a mediano y largo plazos, ya que no solo se hace con un enfoque de cambio e innovación, sino que, cuando las tecnologías existentes están actualizadas, la planeación comienza a incluir un enfoque para que, una vez alcanzado el estado tecnológico deseado, pueda mantener a México a la vanguardia y en el estado del arte a nivel global.



FORTALEZAS

- Se adoptan y actualizan las tecnologías existentes haciendo evidente el inicio de la transición tecnológica.
- Genera lo que se llama en inglés un *update deferral*, que significa aplazar los recambios o reemplazos tecnológicos. En lugar de hacer inversiones enormes en nuevos sistemas, el potenciar y modernizar los existentes ayudan a postergar esos recambios optimizando los recursos disponibles y, en algunos casos, simplificando los proyectos.



POTENCIAL DE IMPACTO

- Prolongar la vida útil de la infraestructura actual ayuda a optimizar los recursos disponibles y hace que se focalicen mejor las inversiones.

3

ACCIÓN PARA IMPULSAR
EL DESARROLLO COMPETITIVO

Implementación de un sistema BIM en el transporte terrestre nacional

Objetivo

Profesionalizar el diseño, construcción y gestión de proyectos de transporte a través de la ejecución rápida, eficaz, eficiente y organizada, empleando la implementación de relaciones interdisciplinarias entre involucrados, que brinden facilidad para definir y preparar planes de acción relacionados con la integración y el desarrollo del proyecto.

Descripción

La importancia de la implementación de esta metodología en proyectos ferroviarios radica en el hecho de que tiende a mejorar la colaboración entre equipos, optimizando la eficiencia del flujo de trabajo.

De la misma manera, ofrece una plataforma estable para crear simulaciones por computadora y modelos hiperrealistas del proyecto completo, permitiendo a los clientes, gobierno, proveedores y demás involucrados dar seguimiento antes y después de su construcción.

4

ACCIÓN PARA IMPULSAR
EL DESARROLLO COMPETITIVO

Homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC

Objetivo

Mejorar la ventaja competitiva de la región comercial formada por los miembros del T-MEC, al estandarizar los sistemas de comunicación, operación, seguridad y confiabilidad en el transporte terrestre, lo que facilitará el intercambio comercial entre los países.

Descripción

Esta homologación permitirá construir el andamiaje para el tránsito de vehículos entre los territorios de los socios comerciales abriendo oportunidades al desarrollo de la industria local con un alcance regional, principalmente en las zonas fronterizas. En el ámbito ferroviario, la operación segura, eficiente y confiable entre sistemas ferroviarios internacionales de nuestros socios del T-MEC es una prioridad y resulta una acción estratégica.

Esta acción es particularmente necesaria, ya que en la medida en que la tecnología va ganando terreno en su implementación de sistemas de señalización y control dentro de los sistemas ferroviarios mundiales, México tiene un rezago en el tema, principalmente porque no cuenta con una homologación de estos a lo largo de sus vías generales de comunicación ferroviaria, esto es, al interior.

Una homologación en estos sistemas, a lo largo del Sistema Ferroviario Mexicano, traería los siguientes beneficios principales:

1. Interoperabilidad e integración entre las diferentes líneas ferroviarias.
2. Garantizar la seguridad en las operaciones, lo que traería como consecuencia la reducción de siniestros relacionados directamente con este tema.
3. Facilidad de regulación técnica y jurídica.
4. Desarrollo unificado del sistema ferroviario.
5. Rehabilitación y mejora del sistema.
6. Reducción de los GEI por volumen transportado de carga.

Actualmente, Estados Unidos ha desarrollado e implementado en su sistema ferroviario PTC, siendo una de sus principales características el uso de la tecnología de sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés - *Global Positioning System*), haciéndolo ideal para infraestructuras ferroviarias de muchos kilómetros o con difícil acceso y, en especial, para infraestructuras de transportes de mercancías.

La implementación y el uso del sistema PTC en nuestro país traería consigo mayor seguridad al sistema, así como una amplia interoperabilidad con el sistema ferroviario de Estados Unidos y Canadá, colocándonos en ventaja competitiva a la región de los países que conforman el T-MEC, siendo un parteaguas para su implementación en países de Centroamérica y de América del Sur.

Esta acción estratégica se resume en homologar e implementar en materia de tecnología ferroviaria con respecto a las buenas prácticas del sector ferroviario estadounidense y canadiense, con la finalidad de sistematizar la operación ferroviaria, proporcionar un servicio seguro, de calidad y confiable.

Cabe señalar que las empresas mexicanas, así como las extranjeras dentro del país se verán completamente beneficiadas, debido a que se evitarán interrupciones en sus cadenas de suministros, haciéndolas más eficientes y sólidas, de igual forma, México sería más atractivo para el mercado internacional. Además, se integrarían las operaciones ferroviarias mediante la tecnología de señalización PTC, evitando tener sistemas de señalización como el ASFA, LZB, EBICAB900 y ERTMS/ETCS, los cuales separan o disgregan, ya que el objetivo principal es funcionar como un gran bloque tecnológico.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Promover una homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC puede tener las siguientes debilidades, amenazas y barreras:



DEBILIDAD

- Sobreponer intereses regionales sobre necesidades nacionales haciendo que se enfoquen esfuerzos y recursos en proyectos y acciones que no van a tener el impacto esperado para México.



AMENAZA

- Recibir presiones generadas por los compromisos adquiridos en el T-MEC, que resultan en exigencias en el desarrollo del sector de transporte terrestre en México y que no van acorde con las condiciones socioeconómicas y socioculturales del pueblo mexicano.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto de hacer la homologación tecnológica se presentan a continuación:



OPORTUNIDAD

- Creación del marco perfecto para aprovechar las economías de escala cuando vayan a realizarse acuerdos comerciales de gran escala con otras regiones.
En lugar de hacer esfuerzos comerciales separados entre los distintos países, pueden hacerse compras asociativas regionales de tecnología e insumos a otras regiones creando eficiencias en precios, resultando en productos más competitivos para las industrias de los países del T-MEC.



FORTALEZA

- Fortalecer e impulsar la sostenibilidad del sector automotriz mexicano en estos mercados. Lograr una homologación de las tecnologías y las normas técnicas puede hacer que el sector automotriz mexicano, crezca al capitalizar la relación comercial con sus vecinos del norte.



POTENCIAL DE IMPACTO

- Mayor disponibilidad de los avances tecnológicos para México. Esto naturalmente impulsará a México a apuntar a metas más altas y a tener como referencia a los vecinos del norte quienes, en algunos casos ya han recorrido el camino del avance y la transición tecnológica.

5

ACCIÓN PARA IMPULSAR
EL DESARROLLO COMPETITIVO

Educación tecnológica en materia de transporte

Objetivo

Desarrollar talento humano con capacidades tecnológicas, profesionales, administrativas, científicas y de innovación que puedan insertarse en los mercados laborales de la industria en el transporte, así como brindar conocimientos básicos, actitudes y valores a la ciudadanía, para el aprovechamiento, la valoración y la convivencia con los sistemas de transporte, lo que se traduce en beneficios sociales y ahorros económicos.

Descripción

Esta estrategia tiene dos enfoques, debido a que la educación gira en dos esferas, la preparación educativa curricular de talento humano y la contribución social a una cultura de conocimiento básico del transporte como un medio de movilidad de personas.

Dentro del primer enfoque, existe una carencia actual de talento en materia ferroviaria. Se han iniciado esfuerzos para crear en el año 2020 la primera carrera en Ingeniería ferroviaria con el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la primera carrera de bachillerato tecnológico profesional en servicios ferroviarios con el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) y el diseño de dos diplomados de capacitación postprofesional con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y CONALEP.

Sin embargo, estas actividades requieren integrarse en una estrategia de impulso que agilice su implementación, brinde recursos y compromisos sectoriales que faciliten la asimilación tecnológica, la creación de valor y el desarrollo de talento capaz de innovar.

Especial mención merece la educación que se brinda en el sector por parte de las empresas a través de la capacitación de su personal. Esta capacitación deberá crearse de una manera más profesional y estructurada, haciendo uso de las tecnologías que incluyen los simuladores y las herramientas de telecomunicación.

Por otra parte, implementar la educación para los usuarios de los sistemas de transporte terrestre es una estrategia fundamental. Esto es de suma importancia para mantener e incrementar el desarrollo que en los últimos años ha adquirido el sistema de transporte terrestre, reducir el impacto económico y social de la siniestralidad de los sistemas de transporte en nuestro país y posicionar la educación vial como un tema prioritario para el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de transporte en conjunto con la política en materia de salud pública.

Esta estrategia consiste en asignar un rol primordial al usuario y culturizarlo para reconocer los beneficios del enfoque preventivo en la seguridad de los sistemas de transporte para aplicarlo en sus actividades cotidianas y salvar el mayor número de vidas.

En este sentido, se aprovecharán las herramientas tecnológicas para educar al usuario, a través de la implementación de campañas de seguridad vial, reglamentos y normativas, empleo de sistemas de monitoreo satelital y sistema de datos abiertos de vías, a través de aplicaciones en dispositivos móviles y portátiles que se encuentran al alcance de cada usuario.

Análisis de barreras, debilidades y amenazas

Las barreras, debilidades y amenazas de la acción de educación tecnológica en materia de transporte, la cual es una acción de transferencia de conocimiento y creación de capacidades, se han identificado de la siguiente manera:



BARRERAS

- La disponibilidad de recursos y de capital humano necesario para lanzar programas y cursos relacionados con la transición tecnológica del transporte terrestre.
Al ser nuevas tecnologías, existe una escasez particular de capital con dichos conocimientos y la oferta se limita aún más cuando se tiene en cuenta que no todos los que poseen el conocimiento, tienen las aptitudes para enseñar y entrenar a otros.
- La necesidad de laboratorios y equipos necesarios para los diferentes entrenamientos crean la necesidad de realizar inversiones que la academia y los centros de formación técnica no siempre están en la capacidad de hacer.



DEBILIDAD

- La falta de coordinación entre la academia y el sector real. Muchas veces las necesidades del mercado y la industria no concuerdan con lo que se está enseñando en la academia ni con el entrenamiento que se da en los institutos de formación técnica. Por lo que es necesario que haya una mayor conexión entre las necesidades del mercado y lo que los centros de formación profesional están enseñando.



AMENAZA

- Debe tenerse presente que, en el caso ferroviario, a lo largo de todo el mundo, los especialistas del sector están envejeciendo, generando la demanda de nuevos profesionistas, lo que sumado a los nuevos proyectos ferroviarios que se desarrollan actualmente en el país, amplía la necesidad de formación de nuevos cuadros técnicos.

Análisis de oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto

Las oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto de esta acción traen una serie de beneficios que se presenta enseguida:



OPORTUNIDAD

- La capacitación de conductores de los vehículos y operarios de nuevas tecnologías. Este reentrenamiento es una gran oportunidad de eliminar malas prácticas que ponen en riesgo los estándares de seguridad en el transporte terrestre. Esto resultará en mejores y nuevos estándares de seguridad, lo cual se verá reflejado en la reducción de accidentes.



FORTALEZAS

- Crear capacidades y transferencia de conocimientos resultará en cuerpos de atención de accidentes y emergencias debidamente preparados para atender las emergencias asociadas a nuevos riesgos inherentes a la adopción de nuevas tecnologías. Como ejemplo, la movilidad eléctrica añade un componente de alto voltaje a la atención de accidentes que con los vehículos de combustión no existía.
- Tener personal de mantenimiento capacitado y actualizado generará credibilidad en las nuevas tecnologías, lo que hará que la adopción se acelere al generar confianza en el público.



POTENCIAL DE IMPACTO

- La creación de nuevos programas educativos que generan nuevas capacidades en la población y por ende pueden dar pie a nuevas necesidades y oportunidades de empleo.

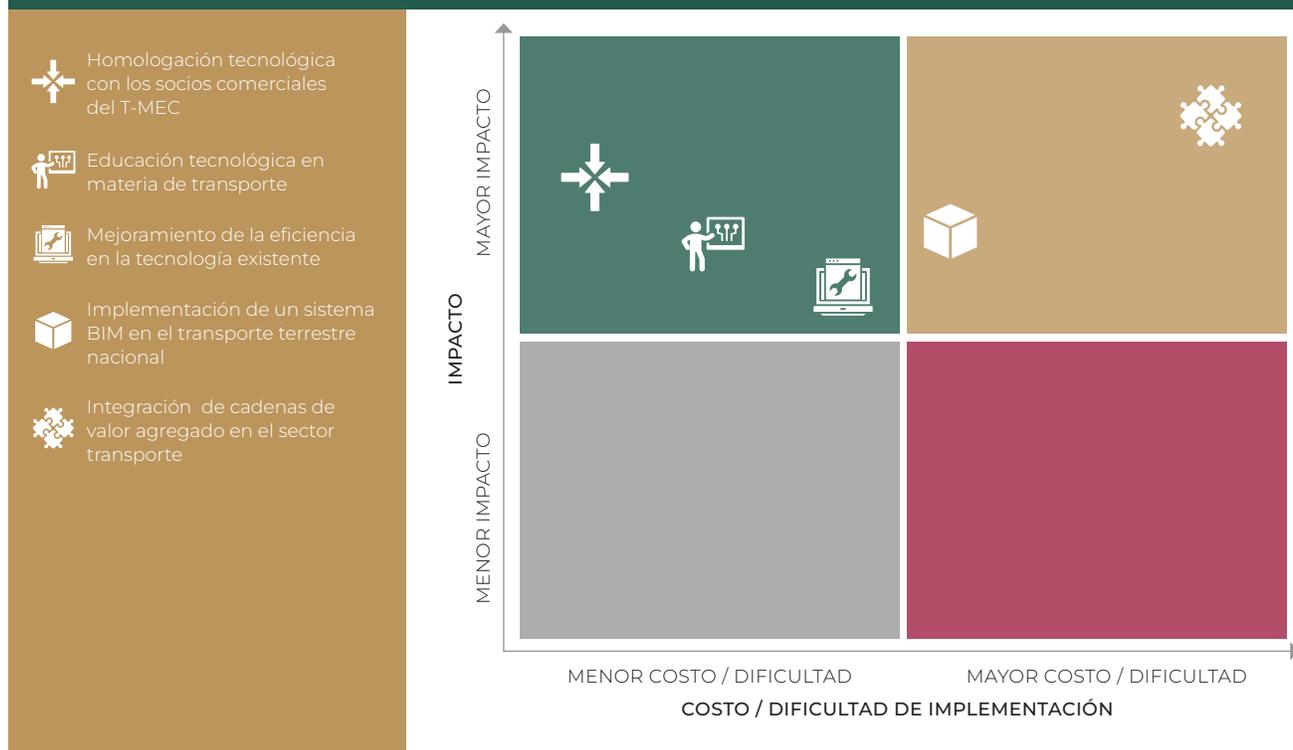
Priorización de las acciones para la transformación

Así como con las acciones de transformación y las acciones de integración, el mapa de priorización de las acciones para impulsar el desarrollo competitivo se ha construido a partir de la identificación de amenazas, debilidades y barreras, así como la de sus oportunidades, fortalezas y potenciales de impacto.

Se ha evaluado su impacto en el cumplimiento de los objetivos del Mapa de Ruta Tecnológica de promover la transición tecnológica, además de sus costes de implementación para generar la priorización deseada.

Figura 27

Mapa de priorización de las acciones estratégicas para impulsar el desarrollo competitivo



Dentro del ejercicio de priorización de las acciones estratégicas para impulsar el desarrollo competitivo pudo identificarse que **integrar cadenas de valor agregado en el sector transporte** es tal vez la acción que genera un mayor impacto a un mayor costo.



Esto no necesariamente significa que debe ser la acción prioritaria y primordial, sino que se analiza que el desarrollo de esta acción es la evidencia de los avances en la transición tecnológica hacia un transporte terrestre moderno, eficiente, integrado, sostenible y competitivo. Supone un gran costo porque es la sumatoria de los costos asociados a las acciones de transformación e integración precedentes, así como de las otras acciones para impulsar el desarrollo competitivo.

El avance de esta acción podría considerarse como un indicador del avance en la transición tecnológica del transporte terrestre en México.

En segundo lugar, pudo identificarse que la **homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC** es una acción con bajos costos de implementación y un gran impacto. Esto debido a que los costos asociados a esta homologación es la adopción y expedición de normativa técnica, lo cual es relativamente sencillo y no necesita recursos significativos en su ejecución.



Esta acción puede ser complementaria a la acción del rediseño de procesos de actualización de regulación planteada dentro de las acciones de transformación.

De esta manera podrán alinearse los compromisos regionales y la normativa técnica con la nueva orientación dada a las políticas y regulaciones que se generen. Sobre todo, debe estar alineado con las políticas verticales que se creen para incentivar el uso de ciertas tecnologías particulares.

La **implementación de un sistema BIM en el transporte terrestre nacional** es una acción que al generar estándares, metodologías y herramientas que aseguren la calidad de los proyectos tendrá un gran impacto en la transición tecnológica.



Una de las grandes barreras en Latinoamérica en la adopción de nuevas tecnologías es el cierre de brechas de conocimientos entre los implementadores y la sociedad civil.

Desmitificar y romper las percepciones y concepciones erróneas alrededor de las nuevas tecnologías siempre es una tarea difícil, pero la manera más efectiva de hacerlo es demostrando en terreno que las tecnologías funcionan y proporcionan mejoras frente a lo antiguo.

Implementar el sistema BIM permitirá asegurar la calidad, lo cual se verá reflejado en mejorar los servicios de transporte, lo que impactará directamente sobre las condiciones de competitividad de los usuarios y clientes finales.

Se considera una acción de alto costo, ya que depende de la inversión en sistemas tecnológicos y de calidad por parte de los distintos actores de las cadenas de valor de transporte terrestre, sin embargo, su impacto puede considerarse alto en relación con el aumento en el desarrollo competitivo del país.

En toda transición tecnológica la movilización de conocimiento y la creación de capacidades es primordial y clave para que se dé de manera exitosa. Es por esta razón que la **educación tecnológica en materia de transporte** es una acción estratégica de suma importancia en donde, dentro del Sistema Nacional de Innovación, se involucra el subsistema de educación e investigación, el cual está constituido por las instituciones de educación técnica y tecnológica, las universidades y los centros de investigación.

El éxito de la ejecución de esta acción radica en la alineación con el sector privado y el mercado. Poder generar y desarrollar capacidades técnicas y tecnológicas que sean de alto nivel y que suplan las necesidades del mercado laboral es el objetivo principal. La acción de integración de priorización de tecnologías juega un papel clave en la identificación de estas necesidades de la industria y el mercado laboral para formular programas de formación.

De igual manera, la creación de los programas de formación debe ir alineada con la formulación de las políticas públicas que promuevan la transformación y las estrategias y visiones, no solo de política sino de desarrollo industrial y económico de los distintos subsectores del transporte terrestre.

Para esto, es necesario que los programas comiencen a formar profesionales no solo enfocados al autotransporte o al transporte ferroviario, sino que se preparen profesionales con visiones integrales del transporte terrestre y de complementariedad entre los distintos modos de transporte.



Adicionalmente, debe fomentarse la creación de laboratorios, centros de investigación y espacios de entrenamiento, experimentación y transferencia tecnológica que permita consolidar esos procesos de formación.

La práctica y la generación de conocimiento a través de la aplicación son claves en estos procesos de formación y creación de capacidades. Es necesario contemplar este tipo de inversiones en los presupuestos de universidades, centros de formación y el sector educativo público.

Por último, el **mejoramiento de la eficiencia en la tecnología existente** se considera una acción de costo e impacto medio, ya que es necesario invertir para actualizar o realizar proyectos de *retro fit* en la tecnología existente.



No obstante, el impacto en la promoción de una transición tecnológica no es mayor, ya que, en esencia, se mantiene la tecnología existente en operación, lo que prolonga los tiempos de adopción de las nuevas. Es necesario cuidar que este mejoramiento de la eficiencia tecnológica prepare la infraestructura actual para el salto tecnológico y que, mientras este se da, mejore las condiciones de competitividad en lugar de generar una perpetuidad en el uso de tecnologías obsoletas con actualizaciones para mantenerlas funcionales.

Por esta razón, esta acción debe considerarse transitoria y poco prioritaria, ya que puede retrasar los avances y transiciones tecnológicas a la vez que se destinan recursos que bien podrían emplearse en el financiamiento de proyectos de renovación e innovación tecnológica real.

Proyecciones y construcción del Mapa de Ruta Tecnológica

Los ejercicios de priorización de las distintas acciones estratégicas han podido revelar la interdependencia de estas, estableciendo un camino de acción para la transición tecnológica del transporte terrestre en México.

Ha podido establecerse que las acciones de transformación dan paso a las acciones estratégicas de integración y estas, a su vez, permiten el desarrollo de las acciones que impulsan el desarrollo competitivo. Estas sinergías identificadas en las acciones prioritarias son las que dan origen a la propuesta del MRT-TT en México para una transición tecnológica y de sistemas de innovación.

Los sistemas de innovación, sean nacionales o específicos de tecnología, tienen una serie de funciones que sirven como indicadores del correcto desarrollo de la transición tecnológica o del sistema de innovación.

Puede entenderse que idealmente un sistema de innovación consiga su propósito principal de lograr la transferencia, implementación y difusión de tecnología, cumpliendo el siguiente conjunto de funciones: (van Alphen, Hekkert, & van Sark, *Renewable energy technologies in the Maldives*, 2008) (Hekkert, Suurs, Negro, Kuhlmann, & Smits, 2007) (van Alphen, Hekkert, & van Sark, 2008):

1. Creación de capacidades adaptativas

Esta es una de las funciones clave del sistema de innovación, se refiere al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad humana, organizativa e institucional. Las estructuras sociales y los valores personales evolucionan con la infraestructura física de una sociedad, con las instituciones y con las tecnologías incorporadas en ellas.

Por lo tanto, las nuevas trayectorias tecnológicas de una economía implican nuevos retos sociales. Lo que requiere de la capacidad de las personas y las organizaciones para adaptarse continuamente a las nuevas circunstancias y adquirir nuevas habilidades.

Las actividades de desarrollo de capacidades pueden incluir: seminarios de formación, talleres, planificación empresarial y desarrollo de material educativo. Además, el desarrollo de una política nacional como la Planeación Estratégica de Gran Visión del Transporte Terrestre y el establecimiento de nuevas instituciones son necesarios para ganar fuerza institucional.

Aquí podría entrar la creación de una Comisión Intersectorial de Transición Tecnológica del Transporte Terrestre.

2. Difusión del conocimiento a través de redes

Los mecanismos de aprendizaje y difusión de conocimiento son el núcleo de cualquier proceso de innovación. Esta función puede analizarse mediante el mapeo de espacios (talleres, cursos, conferencias, etcétera) dedicados a un tema tecnológico específico, así como el tamaño y la intensidad de la red a lo largo del tiempo. También la aparición de nuevos programas de formación técnica y profesional es un buen indicador de esta función.

3. Articulación de la demanda

Dado que los recursos son casi siempre limitados, es importante que, cuando existan varias opciones tecnológicas, se elijan aquellas que sean más factibles y atractivas para las inversiones públicas y privadas. Sin esta selección o priorización no habrá recursos suficientes para cada una de las opciones tecnológicas.

Esta función puede ser cumplida por diversos actores del sistema, como la industria, el gobierno o el mercado. Además, puede analizarse mediante el mapeo de los objetivos específicos establecidos por los gobiernos o las industrias sobre una tecnología determinada. Por ejemplo, los objetivos de penetración de vehículos eléctricos a 2030 que ya tienen varios países en el mundo.

4. Creación de legitimidad o contrarrestar la resistencia al cambio

Para el correcto desarrollo de una nueva tecnología, esta tiene que formar parte de un régimen establecido como se ha presentado ya en la perspectiva multinivel. Los actores establecidos en el sistema y

con intereses particulares suelen oponerse a esta fuerza de cambio. En ese caso, las coaliciones de promoción de la tecnología pueden funcionar como un catalizador, pues introducen una nueva tecnología en la agenda, presionan para obtener recursos y regímenes fiscales favorables y, al hacerlo, crean legitimidad para una nueva trayectoria tecnológica. Si tienen éxito, estas coaliciones crecerán en tamaño e influencia; pueden llegar a ser lo suficientemente poderosas como para acelerar el espíritu de recambio tecnológico. La escala y los éxitos de estas coaliciones dependen directamente de los recursos disponibles y de las expectativas asociadas con la nueva tecnología.

Esta función puede analizarse trazando un mapa del surgimiento y crecimiento de los grupos de interés y sus acciones de *lobby*. Para ilustrar esta función, podemos poner como ejemplo las diferentes asociaciones de energías renovables o recientemente de hidrógeno que han aparecido a lo largo de América Latina.

Estas asociaciones agrupan actores interesados en una cierta tecnología y realizan acciones y *lobby* para introducir dentro de la agenda política del país la creación de condiciones favorables para el desarrollo de la tecnología particular por la cual abogan.

5. Movilización de recursos

Los recursos, tanto financieros como de capital humano, son necesarios como insumo básico para todas las actividades del sistema de innovación.

En el caso de una tecnología específica, es necesaria la asignación de recursos suficientes para hacer posible la implementación de proyectos. Esta función puede analizarse no solo por la cantidad de recursos financieros destinados a la ejecución de proyectos de una tecnología específica, sino también por la percepción de los actores en cuanto al acceso a los distintos recursos. Pueden ser percepciones de acceso a capital e instrumentos de financiación o de acceso a personal altamente calificado para el desarrollo e implementación de los proyectos.

6. Formación de mercados

Es importante crear un espacio protegido para las nuevas tecnologías. Una posibilidad es la formación de nichos de mercado temporales para aplicaciones específicas de una tecnología. Esto puede darse a través de proyectos piloto para validar modelos de negocio y la factibilidad de formación de un mercado. En este entorno, los actores pueden conocer las nuevas tecnologías y pueden desarrollarse las expectativas frente a estas.

Otra posibilidad es crear una ventaja competitiva (temporal) mediante regímenes fiscales favorables (por ejemplo, exenciones de aranceles o IVA) o cuotas de consumo mínimas (por ejemplo, cuotas de compra mínima de autobuses eléctricos en nuevas flotas de transporte público).

Esta función puede analizarse mediante el mapeo del número de nichos de mercado que se ha introducido, la creación de incentivos o nuevos regímenes fiscales específicos para las nuevas tecnologías, y la normativa y regulación que mejoran las condiciones y posibilidades para el desarrollo de las nuevas tecnologías en el transporte terrestre.

7. Aparición de actividades empresariales y de emprendimiento

No existe un sistema de innovación sin empresarios ni actividades de emprendimiento. Las iniciativas empresariales son esenciales para el buen funcionamiento de un sistema de innovación.

Esta función puede analizarse mediante el mapeo del número de nuevos actores, el número de nuevas actividades de innovación empresarial, por parte de los actores ya establecidos, y el número de iniciativas o proyectos piloto con nuevas tecnologías.

Al analizar los mapas de priorización de los diferentes conjuntos de acciones estratégicas, puede apreciarse que entre todas estas acciones se aborda y da cumplimiento a las funciones de los sistemas de innovación.

Por eso, el ejercicio de relacionar las acciones propuestas con las diferentes funciones del sistema de innovación será clave para establecer metas y objetivos que darán como resultado el MRT-TT en México.

Como puede notarse, todas estas funciones están interrelacionadas, ya que el avance en una va a generar condiciones propicias para el desarrollo de otras.

Por otra parte, se ha propuesto como una de las primeras medidas de la transición tecnológica la creación de una Comisión Intersectorial de Transición Tecnológica del Transporte Terrestre. Allí se sugiere que como medida importante se definan indicadores para cada una de las funciones del sistema de innovación de tal forma que puedan establecerse metas, así como medir y dar seguimiento a los avances de la transición tecnológica del transporte terrestre en México.

En la construcción del Mapa de Ruta Tecnológica se contempló la interseccionalidad de las acciones de transformación con las acciones de integración y las de impulso al desarrollo competitivo. Como se mostró en la composición del sistema de innovación, el subsistema que impacta a todos los demás de manera transversal es el político y de marco regulatorio. Es por esto que las acciones estratégicas para la transformación son las que sientan las bases de la transición tecnológica, ya que hablan de la creación de políticas y de planeación de gran visión.

Estos marcos normativos y regulatorios son los que crean condiciones propicias para incentivar la formación de mercados alrededor de las nuevas tecnologías. Estos mercados movilizarán recursos hacia los distintos proyectos que deben atender las necesidades del transporte terrestre. Por esta razón es que la articulación de la demanda es importante, ya que los proyectos e inversiones deben responder a las necesidades del sector y de la población.

Una vez establecido un mercado, habiendo recursos disponibles y necesidades identificadas, aparecen las actividades empresariales y de emprendimiento que promueven el cambio y la transición tecnológica.

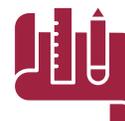
Es por esto que el **fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental** se presenta como acción prioritaria y precursora en las acciones para la transformación. Esta debe iniciar lo más pronto posible y mantenerse a lo largo del tiempo.



Una de las primeras acciones, como ya se dijo, es la creación de la Comisión Intersectorial de Transición Tecnológica del Transporte Terrestre. Esta comisión será la que se encargue de la **planeación estratégica de gran visión del transporte**.



Una vez que se tenga esa planeación de gran visión, se podrá dar paso al **rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones**. Estas dos acciones son claves en la función de articulación de la demanda como función del sistema de innovación. Podremos prever que la transición tecnológica en México se dará cuando exista esta planeación, estableciendo objetivos concretos en la adopción de nuevas tecnologías, y cuando el marco regulatorio se transforme creando incentivos y beneficios que promueva la implementación de estas innovaciones tecnológicas.



En la **Figura 28**, puede observarse que estas dos últimas van ligadas a lo largo del tiempo. Se ponen separadas tanto en el corto, mediano y largo plazos, por que, inicialmente, una vez se establezca la planeación estratégica de gran visión inicial, esta debe revisarse periódicamente y ajustarse según las necesidades y avances en ese momento del tiempo. Asimismo, la normativa y la regulación deberán expedirse para atender las necesidades a cubrir.

En paralelo, la **creación del observatorio el transporte terrestre en México** es una acción que debe darse en el corto plazo. Es necesario comenzar a definir su alcance para así presupuestar los recursos a asignar en su creación, así como el tiempo de desarrollo.



Por último, y atendiendo a las funciones de difusión del conocimiento a través de redes y la creación de legitimidad, es de suma importancia el **establecimiento de clústeres y redes**.



Estos clústeres y redes son los que finalmente realizarán los seminarios, encuentros y eventos que facilitarán la difusión del conocimiento y, a su vez, establecerán grupos y agremiaciones que exigirán y realizarán actividades de *lobby* para introducir en las agendas regu-

latorias y políticas los incentivos y marcos regulatorios propicios de los que se habla en el rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones. Sin embargo, este último debe provenir de iniciativas del sector privado y la sociedad civil.

En esta dinámica las acciones para la integración cobran relevancia, ya que estas tratan de la implementación de las tecnologías y del cambio tecnológico en sí mismo. Allí, en la implementación, es donde debe crearse una legitimidad del cambio, justificar su aparición, reduciendo así la resistencia al cambio por parte de todos los actores.

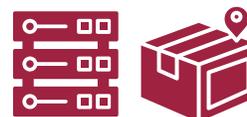
Como se muestra en la propuesta para la construcción del Mapa de Ruta Tecnológica, la primera acción debe ser la de **priorizar el uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible**. Esta priorización es vital y responde a la función de articulación de la demanda, ya que permite hacer esa selección de tecnologías de las cuales debe priorizarse su promoción.

Al tener recursos limitados, los esfuerzos deben enfocarse en esas tecnologías priorizadas. Una vez realizada esta priorización pueden adelantarse las acciones de **automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase y modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías**.

Para estas últimas dos acciones podrían utilizarse las funciones de aparición de actividades empresariales y de movilización de recursos, para la creación de metas y objetivos que puedan medir su avance.

Promover la realización de proyectos piloto y la movilización de recursos hacia la inversión en nuevas tecnologías es algo que sin duda permitirá que estas dos acciones se ejecuten de manera práctica. Por eso, es importante que los marcos normativos y regulatorios creen incentivos adecuados para la promoción de las nuevas tecnologías.

En este sentido, estas acciones inician en el corto plazo, pero después de las actividades de rediseño de políticas y de priorización de uso eficiente de las tecnologías actuales, y deben mantenerse a lo largo del tiempo a medida que aparezcan nuevos avances tecnológicos.



En paralelo, y como resultado de la ejecución de acciones para la transformación y la integración, se desplegarán las acciones para impulsar el desarrollo competitivo. Una vez existan marcos normativos claros y robustos, y se movilicen recursos hacia la adopción tecnológica, será más sencillo promover el desarrollo competitivo del país a través de la actualización tecnológica.

Por este motivo es que la acción de **mejoramiento de la eficiencia en la tecnología existente** podrá dar un impulso a la competitividad, pero depende del ejercicio de priorización de las tecnologías existentes.



En la implementación de las acciones para impulsar el desarrollo competitivo es muy importante la difusión de conocimiento a través de redes y la creación de capacidades adaptativas, es por esto que la acción de **educación tecnológica en materia de transporte** inicia en el corto plazo inmediato, pero se mantiene a lo largo del tiempo.



Por otra parte, se plantea que las acciones más técnicas y que son resultantes de todos los procesos anteriormente descritos como lo es la **implementación de un sistema BIM en el transporte terrestre nacional** y la **homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC** se darán en el mediano plazo.



Por último, la acción **integrar cadenas de valor agregado en el sector transporte**, al ser casi el eje al cual se apunta con la modernización e integración del transporte terrestre, se muestra tarde en el mediano plazo, como resultado del buen desarrollo de las otras estrategias planteadas.



En la figura a continuación, se presentará la visión macro del MRT-TT derivado de los ejercicios de priorización, la interseccionalidad de las acciones estratégicas de los diferentes grupos, y el desarrollo de las funciones de los sistemas de innovación ya descritas.

Adicionalmente, se ha incluido el pilar el transporte terrestre que influye, la tendencia tecnológica que incluye y, en la parte superior, la alineación con estrategias o metas tanto nacionales como globales que deben tenerse en cuenta al momento de establecer metas y objetivos.

A continuación, y a manera de resumen, se presenta un esquema del MRT-TT.

Figura 28

Esquema del Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre en México (simplificado)

Alineación con estrategias y metas

- | | |
|--|--|
| <p>Nacional</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meta de reducción del 50% en accidentes viales. | <ul style="list-style-type: none"> • Meta de infraestructura carretera del 65% en estado bueno y regular al 90%. |
| <p>Global</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada en vigor del límite de emisiones de GEI en autotransporte Federal en el T-MEC. | <ul style="list-style-type: none"> • Meta de generación del 35% de la energía eléctrica con fuentes limpias. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Se orienta a favorecer proyectos de infraestructura que impulsen la idea de “Manejar menos y caminar más” (Drive less, walk more). • En la Unión Europea el 30% de la carga en distancias promedio de 300 km usando el ferrocarril. • Se espera una mayor participación de tecnología autónoma en la entrega de paquetes en zonas controladas –por ejemplo, barrios cerrados– vía robots y en zonas remotas a través de drones. | <ul style="list-style-type: none"> • Planea incrementar la capacidad de producción de hidrógeno a 5 GW para 2030 y 10 GW para 2040. • Se ejecuta el compromiso de que todos los automóviles nuevos que se vendan en el mundo a partir de 2040 sean cero emisiones. • Se proyectan inversiones para el desarrollo de proyectos aeroportuarios que complementen la capacidad del transporte en su conjunto. • Se proyecta el pico de emisiones de GEI en trenes rápidos y de alta velocidad que después tenderá a reducirse. |

Oportunidades en México

Acciones para la transformación		Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
	Creación de un observatorio del transporte terrestre en México	✓		
	Establecimiento de clúster y redes	✓	✓	✓
	Planeación estratégica de gran visión del transporte	✓	✓	✓
	Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional a nivel gubernamental	✓	✓	✓
	Rediseño de los procesos para la actualización de regulaciones	✓	✓	✓
Acciones para la integración				
	Automatización de terminales intermodales, puertos secos, terminales y operaciones de transvase	✓	✓	✓
	Priorización del uso eficiente y efectivo de la tecnología disponible	✓		
	Modernización de los sistemas de seguimiento de mercancías	✓	✓	✓
Acciones para impulsar el desarrollo competitivo				
	Mejoramiento de la eficiencia en la tecnología existente	✓		
	Implementación de un sistema BIM en el transporte terrestre nacional		✓	✓
	Homologación tecnológica con los socios comerciales del T-MEC	✓	✓	
	Educación tecnológica en materia de transporte	✓	✓	✓
	Integración de cadenas de valor agregado en el sector transporte		✓	✓

Ver Anexo al final del documento.

Impactos y retos tecnológicos de las proyecciones futuras

Los cambios tecnológicos que se presenten en los años siguientes modificarán de una forma sin precedente el uso de los recursos, el propósito de los vehículos, la infraestructura y los modos de operación. Esto llevará a resolver nuevos retos asociados con estos cambios que impactarán en el ámbito económico, social y gubernamental.

La transformación de la movilidad ha ido avanzando a buen ritmo y el desarrollo de un sistema ferroviario tecnológicamente avanzado sigue siendo una tarea difícil para todos los implicados.

Los próximos años traerán consigo el fortalecimiento de la resiliencia de la movilidad, observando y ajustando los efectos de las medidas para lograr los objetivos.

En esta sección, se presentan algunos de los impactos y retos previstos por diferentes comités de expertos, que son invitados para plantear estrategias de solución y de acuerdo con el tema serán los perfiles de los invitados.

Aparición del transporte semipúblico

Los incentivos para que las personas posean un automóvil en las ciudades se reducirán al replantear la movilidad como un servicio o Mobility as a Service (MaaS), los vehículos de servicio de transporte privado de pasajeros o ride-hailing aumentarán con mayor frecuencia, pues además por la automatización no requerirá de un conductor, surgiendo con ello sistemas de transporte semipúblico (Muzira & Peralta, 2018).

Reducción de emisiones de GEI

La demanda de energía y las emisiones de GEI podrían reducirse de manera considerable dependiendo del grado en que se adopten los vehículos autónomos, los vehículos eléctricos, la intermodalidad e integración del transporte carretero y ferroviario.

Los tiempos de traslado de puerta a puerta se acortarán marcadamente a medida que entren en escena nuevos modos de transporte de alta eficiencia (OECD, *Transport Outlook 2021*, 2021).

Reducción de costos administrativos en carga

En el sistema logístico, los costos administrativos se reducirán por las nuevas tecnologías de trazabilidad y reducción de pérdida de información desde el producto hasta el importador final. Se estima un ahorro del 20% del costo total.

Ciudades menos compactas

Mejorar las condiciones de movilidad de personas influirá en el desarrollo de las ciudades donde las personas disminuyan el interés de vivir cerca de su trabajo o servicios. La reducción de los incentivos para viajar estimulará el crecimiento de las periferias (Muzira & Peralta, 2018).

El cambio climático

Los ferrocarriles ya desempeñan un papel fundamental en el transporte con bajas emisiones de carbono, pero aún queda un largo camino por recorrer antes de lograr cero emisiones para el año 2050, llegar a niveles más altos de reducción significa un aire más limpio, menos calentamiento global, un ambiente más saludable para la región y vecindarios libres de ruido.

Además de eso, el uso del transporte ferroviario en lugar del transporte por carretera puede reducir las emisiones de GEI en un 75%.

Impacto económico

El impulso al ferrocarril da a la economía un menor costo de transportación e interconexión de regiones. El mercado doméstico se amplía y la movilidad urbana se acrecienta. A los impactos económicos se suman los sociales: menor accidentalidad, mínima contaminación atmosférica provocada en zonas urbanas, y una contribución decisiva a la reducción de la congestión urbana.

La automatización y el capital humano

La realidad de los trenes sin conductor es solo una cuestión de tiempo, pero no significa que las personas tengan que desaparecer por completo. Es una nueva forma de trabajar, lo que implicará una renovación de sus competencias. Los cambios tecnológicos están llegando, pero tenemos que implementarlos junto con los trabajadores (*Equal Times*, 2020).



Nuevos retos en la interacción con las nuevas tecnologías

La transformación del sistema de movilidad a través de las nuevas tecnologías trae consigo una multitud de nuevos requisitos. La interrelación entre la tecnología eléctrica, energética y la tecnología de la información y la comunicación se acelera cada vez más. Las normas y los estándares juegan un papel crucial en este punto: son la clave de los sistemas conectados.

Para hacer frente a este enorme reto, deberá perseguirse un enfoque holístico al centrarse en la normalización, homologación y certificación.

Reducción de pago de multas

Se estima que el mayor uso de vehículos compartidos y automatizados reduzcan significativamente las infracciones, lo que impactará directamente en los ingresos gubernamentales por el pago de las multas (Muzira & Peralta, 2018).

Riesgos de ciberseguridad

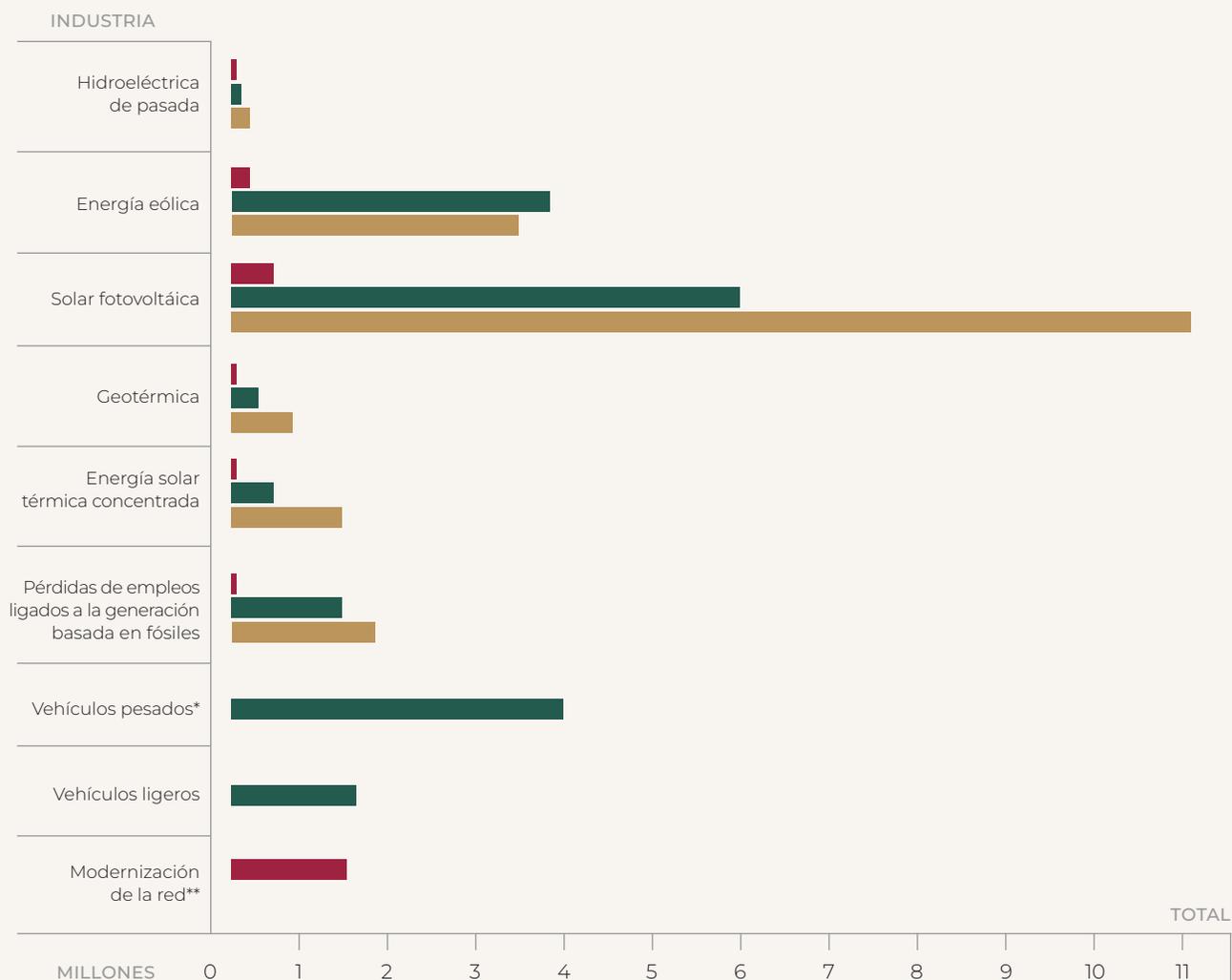
Mayores niveles de automatización en los vehículos incrementa proporcionalmente las tecnologías digitales, teniendo una preocupación cada vez mayor por los ataques cibernéticos y las violaciones de la privacidad.

Cambio del mercado laboral

La transformación tecnológica está demandando aptitudes no antes requeridas en el sector, asociadas a la computación, electrónica y eléctrica, principalmente. No contar con una planeación de generación de recursos humanos calificados, puede tener impactos adversos, esto lo podemos observar en la siguiente figura.

Figura 29

Estimación de empleos adicionales (millones) generados regionalmente bajo el escenario de intervención por tecnología energética para mediados de siglo



* Empleos estimados sobre la base de una flota constante de 150 millones de coches, 4 millones de autobuses y 34 millones de camiones para el 2050.

** Empleos estimados sobre una base de inversión de 26 billones de dólares de aquí al 2030 y utilizando los factores de creación de empleo de un estudio de energía inteligente.

*** Años de empleo de una métrica utilizada para evaluar la dimensión de los empleos temporales creados por actividades con un periodo de tiempo limitado.

Fuente: *Carbono CERO* (PNUMA, 2020).

La sostenibilidad, un tema clave en la normalización

El tema de la sostenibilidad y el cumplimiento de los objetivos de acción climática acordados a nivel nacional e internacional es un reto global para todo el sistema de movilidad del futuro. Los estándares y las normas ofrecen un valor añadido al hacer que las medidas de sostenibilidad sean evaluables, comparables y permitan transparencia (NPM, 2021).

Las normas y estándares comunes como requisitos básicos

La digitalización tiene un potencial adicional para hacer que el sistema de transporte ferroviario sea más sostenible, personalizado y basado en las necesidades. Los servicios y aplicaciones digitales brindan la oportunidad de ofrecer a los usuarios un paquete de movilidad integrado que contenga una gama continua de servicios, desde la información, la reserva y la facturación hasta el pago.

Sin embargo, en la realidad, existen diversas barreras para el uso de datos a lo largo de la cadena de la movilidad, debido a la ausencia de servicios o a la falta de conexión entre ellos. Un déficit importante es la falta de normas para los servicios de información, la reserva y la facturación de servicios (NPM, 2021).

La financiación, un factor decisivo para un mayor desarrollo

Una reducción significativa de las emisiones de CO₂ en el sector del transporte puede lograrse mediante la electrificación del ferrocarril y, en particular, mediante la transferencia modal del tráfico al ferrocarril. Este potencial puede aprovecharse mediante el incremento constante de la capacidad, los servicios y el atractivo del ferrocarril.

La ampliación de la capacidad es el factor decisivo en muchos subsectores. La digitalización, la electrificación, el desarrollo de recursos en las empresas y, por parte de los reguladores, el aumento de la financiación para la construcción y la mejora son esenciales (NPM, 2021).



CONCLUSIONES



Conclusiones

Los cambios esperados en el régimen sociotécnico del transporte terrestre en México son significativos, debido al alto grado de innovación derivado de la investigación y el desarrollo que se refleja en nuevos campos de la tecnología.

Contar con infraestructura y sistemas que aún tienen rezagos en su mantenimiento, hace más difícil pensar en una actualización tecnológica o una transición hacia nuevas tecnologías de vanguardia. Sin embargo, esto debe verse no solo como un reto, sino también como una oportunidad para solucionar los problemas que arrastra el sistema de transporte terrestre en México desde hace varios años.

El rumbo de los avances está definido aún por criterios sociales, técnicos, comerciales y políticos que darán forma al advenimiento de las nuevas tecnologías en el sistema de transporte global emergente, determinando así la configuración del transporte terrestre de carga y pasaje en México.

Por eso, este documento tan solo traza los lineamientos de lo que es el MRT-TT en México, pero bajo estos lineamientos queda la labor de construir una agenda de ejecución de las acciones estratégicas planteadas.

En primer lugar, **debe crearse un espacio de gobernanza para promover la transición tecnológica** del transporte terrestre en México. Esta podría ser una Comisión Intersectorial de Transición Tecnológica del Transporte Terrestre donde se establezcan agendas de ejecución de las acciones y objetivos concretos referentes a la transición tecnológica.

Este espacio de gobernanza será el responsable de generar y crear las condiciones adecuadas y las ventanas de oportunidad para que México pueda adoptar más fácilmente nuevas tecnologías. Adicionalmente, debe ser intersectorial y, además de los actores del sector transporte, debe incorporar actores de planeación energética, industria automotriz, comercio y los que se consideren relevantes.

En concreto, la Comisión deberá **realizar inicialmente el diagnóstico y priorización de los sectores y tecnologías prioritarias a ser intervenidas** y que se muestran como críticas para el desarrollo de una transición tecnológica en México. Esto ya se ha venido dando de manera orgánica en algunos sectores, como el transporte particular de pasajeros con vehículos eléctricos.

La adopción de la movilidad eléctrica en México se ha dado aun sin la estrategia nacional de electromovilidad, pero se verá grandemente beneficiada una vez que esta entregue incentivos y objetivos nacionales en la adopción de este tipo de vehículos. En el caso del transporte terrestre este tipo de dinámicas pueden dar indicios sobre dónde comenzar las acciones de priorización.

Este documento presenta las funciones de los sistemas de innovación como una guía para la **creación de metas y objetivos** referentes a la transición tecnológica del transporte terrestre. Deben establecerse metas y objetivos claros en cuanto a lo que se pretende lograr con esta transición tecnológica: reducción de accidentes, reducción de emisiones de GEI y de material particulado, eficiencias en la cantidad de carga por kilómetro recorrido, eficiencias en tiempos de entrega, entre otros beneficios.

Una vez que se establezcan los objetivos puntuales que se quieren alcanzar con la transición tecnológica, deben establecerse indicadores de cumplimiento o de funcionamiento adecuado del sistema de innovación a través de las siete funciones presentadas en el apartado Proyecciones y construcción del Mapa de Ruta Tecnológica (página 174).

Estos lineamientos del Mapa de Ruta Tecnológica presentan una herramienta dirigida a la creación de política pública y condiciones favorables para la adopción de nuevas tecnologías. Por lo tanto, el planteamiento de creación de ventanas de oportunidad para la disrupción tecnológica desde el subsistema político y regulatorio debe ser primordial.

En complemento a la creación de metas y objetivos, se recomienda que **al establecer objetivos y metas, estas no se limiten a los vehículos, sino también incluyan la infraestructura, operación e inclusión de nuevos sectores**. Esto debe ser de gran énfasis ahora en donde los nuevos adelantos van enfocados y ligados a otros sectores, como el energético y el informático.

Incluir a actores del sector eléctrico y energético en la Comisión Intersectorial es de suma importancia para la planeación de la infraestructura y su respuesta a la demanda. También es importante incluir actores del sector de las telecomunicaciones y el sector de energía. De igual forma, la habilitación de las plataformas y redes de comunicación para estas aplicaciones.

El desarrollo tecnológico ha sido un factor indiscutible en la evolución del transporte terrestre, tanto de pasajeros como de carga. La **revisión sistemática de las tendencias** tecnológicas es prioritaria para vigilar la dirección que deben fortalecer las proyecciones a lo largo del tiempo.

Por tanto, la **sistematización de espacios comunes de consulta** y referencia es requerida para facilitar y apoyar la toma de decisiones estratégicas. También es importante la creación del observatorio del transporte terrestre presentado en el apartado Acciones para la transformación (página 110).

Se recomienda que, una vez creado el espacio de gobernanza, se establezca su alcance para definir un presupuesto y una ventana de tiempo para tener la versión 1.0 funcionando. Es importante que este alcance inicial sea acotado de manera específica priorizando las funcionalidades deseadas.

El Mapa de Ruta Tecnológica es un ejercicio indispensable en una época de grandes cambios tecnológicos y retos ambientales mundiales de gran importancia, especialmente teniendo en cuenta que el transporte representa un 25% de las emisiones de dióxido de carbono en México.

El seguimiento de las tendencias tecnológicas siempre debe hacerse de manera que esté ligado a los objetivos y metas que se establezcan para la transición tecnológica. Por eso, es importante que estas metas y objetivos estén alineados con políticas nacionales e internacionales de eficiencia en la logística internacional y cambio climático, entre otras.

Antes de migrar hacia una nueva tecnología (dadas las fuertes afectaciones socioeconómicas, científico-tecnológicas y ambientales que ello representa) **debe evaluarse si lo que guía primordialmente la transición tecnológica es un enfoque de estrategia climática.**

Como primera acción, debe estructurarse una estrategia orientada a reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes. Para ello, las acciones estratégicas deben considerar el diagnóstico para identificar las causas y evaluar los límites permisibles e implementar acciones mediante los recursos con los que se cuenta, tales como la elaboración de regulaciones (lineamientos, normas, leyes, manuales, etcétera) que coadyuven a la mitigación y reducción de dichas emisiones; es decir, iniciar la solución al problema mediante la reducción y eliminación de viajes no esenciales.

Las siguientes acciones estratégicas deberán apuntar hacia una reingeniería que permita reestructurar a los modos de transporte actuales hacia modos que tengan un menor impacto en el consumo energético y por tanto en la emisión de GEI.

El hecho de cambiar, para largas distancias, una mayor utilización del transporte ferroviario, ya sea de carga o de pasajeros en lugar de tractocamiones o autobuses, trae consigo una consecuente y significativa reducción del consumo de combustibles y de GEI (Shift to Rail).²

Ahora bien, debe estructurarse también una estrategia con acciones encaminadas a la mejora de la calidad de los sistemas de transporte, tanto operativa como de infraestructura, la cual debe considerarse

2 En promedio, los ferrocarriles de carga son capaces de mover una tonelada 770.876 km (479 millas) con sólo 4.54 litros de combustible (1 galón), lo que significa que este modo de transporte es 11 veces más eficiente desde el punto de vista del consumo energético sobre una unidad tonelada-kilómetro base en comparación con los tractocamiones. Adicionalmente, el ferrocarril de pasajeros es aproximadamente tres veces más eficiente que un automóvil sobre una unidad pasajero-kilómetro base. El menor consumo energético conduce a menores emisiones de GEI.

desde sus múltiples ángulos: seguridad, mantenimiento, atención, disponibilidad, logística, etcétera, y ser medible mediante índices de calidad que permitan la retroalimentación y el control para su optimización. Estos deben también monitorear y reportar los indicadores climáticos establecidos en los mecanismos MRV que se tengan en la política climática de México.

A partir de las acciones anteriores, será viable estar en posibilidad de analizar la factibilidad de buscar la implementación paulatina de otras tecnologías mediante la investigación, el desarrollo y la innovación, en función de las condiciones culturales, sociales, económicas y científico-tecnológicas del país. Se enfatiza que la huella de carbono que representaría la adopción de otras tecnologías podrían parecer más eficiente si se considera solamente para una parte del ciclo de vida, pero en realidad podrían producir un mayor impacto negativo si se considera la huella de carbono para todo el ciclo de vida.

Asimismo, la **cibernética de las operaciones** es en sí una gran oportunidad para aprovechar las tendencias tecnológicas relacionadas con el manejo de los datos y de la información que apoyan en elevar la eficiencia, mediante la trazabilidad de las mercancías y plantando la posibilidad de integrar sistemas de información entre el gobierno y las empresas.

Esta oportunidad está asociada a retos tecnológicos que deben resolverse mediante políticas públicas transversales u horizontales, por ejemplo, la modernización de las redes de comunicación con tecnologías de alta velocidad y la construcción de políticas de ciberseguridad. Estas son políticas horizontales multisectoriales que tendrán no solo impacto desde el transporte terrestre sino también desde las telecomunicaciones.

Para lograr la transformación propuesta por estos Lineamientos de Mapa de Ruta Ruta Tecnológica es fundamental la integración del sistema intermodal del transporte, tanto de carga como de pasajeros.

La tendencia del transporte intermodal será la multimodalidad. La estrategia que se debe seguir es, primero, aumentar la integración y participación ferroviaria en el reparto modal, tanto de personas como de carga.

Una vez que el reparto modal esté optimizado, el siguiente paso será mejorar el rendimiento tanto en cuestiones ambientales como operativas.

Para ello, es necesario urgir las acciones estratégicas propuestas bajo el liderazgo claro y preciso que asume el Gobierno Federal, el compromiso de la industria nacional, el potencial de la academia y el respaldo de la sociedad civil ávida de cambios tangibles y que den soluciones a los problemas ambientales y de movilidad que enfrentaremos en las próximas décadas.

ÍNDICE DE TABLAS

- 36 **Tabla 1**
Datos clave sobre la infraestructura de carreteras
- 54 **Tabla 2**
Datos de la infraestructura ferroviaria en México
- 59 **Tabla 3**
Distribución de los tipos de carga en el transporte ferroviario

ÍNDICE DE MAPAS

- 37 **Mapa 1**
Acciones realizadas en el año 2021
- 40 **Mapa 2**
Las cinco entidades federativas con mayor número de colisiones
- 46 **Mapa 3**
Top cinco de principales estados con parque vehicular de autobuses (agosto 2021)
- 48 **Mapa 4**
Top seis de Estados en proporción de vehículos de carga (agosto 2021)
- 51 **Mapa 5**
Aduanas con movimiento de carga en comercio exterior 2020
- 55 **Mapa 6**
Servicios del Sistema de Transporte Ferroviario
- 60 **Mapa 7**
Tráfico de carga del Sistema Ferroviario Mexicano 2020
- 117 **Mapa 8**
Clústeres implementados en México

ÍNDICE DE FIGURAS

- 14 **Figura 1**
Dinámicas de una transición tecnológica en la perspectiva multinivel
- 28 **Figura 2**
Líneas de acción estratégicas del MRT-TT
- 32 **Figura 3**
Plan Nacional Estratégico de Transporte
- 39 **Figura 4**
Accidentes con participación de vehículos del SPF, 2014 - 2020

41	Figura 5	Siniestros reportados en el año 2020
42	Figura 6	Entidades con mayor participación en siniestros en el año 2020
43	Figura 7	Distribución de causas y combinación de factores asociados a la siniestralidad 2020
44	Figura 8	Distribución de percances y víctimas por tipo de colisión 2020
45	Figura 9	Colisión con usuario vulnerable
45	Figura 10	Otro tipo de colisión
47	Figura 11	Parque vehicular motriz del autotransporte de pasajeros por tipo de combustible en 2020
48	Figura 12	Histórico del movimiento de toneladas por modo de transporte en México
49	Figura 13	Principales tipos de vehículos en el parque vehicular nacional
50	Figura 14	Parque vehicular motriz del autotransporte de carga por tipo de combustible en 2020
61	Figura 15	Clasificación de locomotoras por niveles y su relación con la emisión de GEI
63	Figura 16	Fases del proceso de importación y exportación de mercancías
66	Figura 17	Bloques clave para la transición tecnológica
68	Figura 18	Tendencias tecnológicas del transporte terrestre
71	Figura 19	Relación que tienen las tendencias tecnológicas con los pilares descritos del transporte terrestre
76	Figura 20	Tendencia de las aplicaciones de IA en el transporte carretero y ferroviario

97	Figura 21	LCOT proyectados para vehículos eléctricos vs. de combustión interna (USD/kWh), 2017-2050
98	Figura 22	Relación de las diferentes tecnologías de propulsión de motores de combustión interna
103	Figura 23	Posibilidades de configuraciones de los diferentes tipos de vehículos
132	Figura 24	Mapa de priorización de las acciones estratégicas para la transformación del transporte terrestre en México
134	Figura 25	Los cuatro subsistemas de los SIN
149	Figura 26	Mapa de priorización de las acciones estratégicas para la integración del transporte terrestre en México
170	Figura 27	Mapa de priorización de las acciones estratégicas para impulsar el desarrollo competitivo
182	Figura 28	Esquema del Mapa de Ruta Tecnológica del Transporte Terrestre en México (simplificado)
187	Figura 29	Estimación de empleos adicionales (millones) generados regionalmente bajo el escenario de intervención por tecnología energética para mediados de siglo

BIBLIOGRAFÍA

- ACTIA Group. (2021). *ENERGY STORAGE SYSTEMS AND ELECTROMOBILITY SOLUTIONS FOR RAILWAY*. Recuperado en Octubre 29, 2021, de ACTIA Electromobility: <https://electromobility.actia.com/markets/railway/>
- Aguirre-Benítez, K. L., Garduño-Arredondo, J. M., Caraveo-Tuñón, D. R., Verschoor-Höitink, F. L., Lazalde-Arreola, H. E., & Alonso-Cruz, J. (2019). *Ciudades para la movilidad: Mejores prácticas en México*. Tech. rep., GIZ.
- Alavez, R. (2020, Noviembre 27). *¿Cuáles son las tendencias de tecnología para metros en LATAM?* Recuperado en Noviembre 9, 2021, en Real Estate Market & Lifestyle: <http://realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/31129-cuales-son-las-tendencias-de-tecnologia-para-metros-en-latam>
- ALSTOM. (2020, Marzo 6). *El tren de hidrógeno Coradia iLint de Alstom supera con éxito sus pruebas en Países Bajos*. Recuperado en Octubre 29, 2021, de ALSTOM: <https://www.alstom.com/es/press-releases-news/2020/3/el-tren-de-hidrogeno-coradia-ilint-de-alstom-supera-con-exito-sus>
- AMDA. (2018). *Diálogo con la industria automotriz 2018-2024*. Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores.
- ANPACT. (2021). *Reporte Estadístico Mensual de la Industria de Vehículos Pesados en México*. Asociación Nacional de Productores de Autobuses, camiones y tractocamiones.
- ANTP. (2019). *Operación del Transporte de Carga en México*. Asociación Nacional de Usuarios de Transporte de Carga. Asociación Nacional de Transporte Privado.
- Arena Pública. (2021, Octubre 21). *México, entre los países mas rezagados para un futuro de cero-emisiones: KPMG*. Recuperado en Noviembre 9, 2021, de Arena Publica: <https://www.arenapublica.com/politicas-publicas/mexico-entre-los-paises-mas-rezagados-para-un-futuro-de-cero-emisiones-kpmg>
- ARTF. (2020). *Anuario Estadístico Ferroviario*. Ciudad de México: Dirección de Estadística. Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario.
- ARTF. (2020). *Sistema Nacional de indicadores ferroviarios*. Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario.
- ARTF. (2020). *Sistema nacional de indicadores ferroviarios 2020*. Tech. rep., Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario. Recuperado en 2021 de <https://www.gob.mx/artf/documentos/sistema-nacional-de-indicadores-ferroviarios>
- Arup Rail. (2019, Mayo). *Future of Rail 2050*. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de Arup: file:///C:/Users/Dell/Downloads/Arup_FutureofRail2050_2019.pdf
- Arvis, J.-F., Ojala, L., Widerer, C., Shepherd, B., Raj, A., Dairabayeva, K., & Kiiski, T. (2018). *Connecting to Compete 2018 : Trade Logistics in the Global Economy*. World Bank. Washington D. C.: World Bank. Recuperado en 2021 de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29971>
- ASF (n.d.). *Evaluación núm. 1648. Política Pública de Regulación y Supervisión del Autotransporte Federal*. Auditoría Superior de la Federación.
- BBVA. (2020). *¿Qué beneficios tiene viajar en autopistas de cuota en México?* Recuperado en 2021 de <https://www.bbva.com/es/mx/que-beneficios-tiene-viajar-en-autopistas-de-cuota-en-mexico/>

- Bejerano, P. (2019). *Así serán los 20 trenes eléctricos que se estrenarán en Alemania*. Recuperado en Noviembre 1, 2021, de ThinkBig: <https://blogthinkbig.com/trenes-electricos-alemania/>
- BM. (2018). *Connecting to compete 2018. Trade Logistics in the Global Economy*. Banco Mundial.
- BM. (2018). Índice de desempeño logístico. *Datos de libre acceso del Banco Mundial*. Banco Mundial. Recuperado en 2022 de <https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.ITRN.XQ>
- Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., & Facchina, M. (2016). *The road toward smart cities: Migrating from traditional city management to the smart city*. Inter-American Development Bank Washington D. C.
- Bousmanne, C., Cheron, C., Jablonowska, M., & De la Peña, E. (2019). STRIA - transport infrastructure. *Smart Transportation Alliance: web-site*.
- Calatayud, A., & Montes, L. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción*. (A. Calatayud, & L. Montes, Eds.) Banco Interamericano de Desarrollo (BID). doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0003278>
- Calatayud, R. (2019). *Cadena de suministro 4.0: mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- California Fuel Cell Partnership. (2021). *Fuel Cell Electric Trucks: A vision for freight movement in California - and beyond*. California Fuel Cell Partnership. Recuperado en 2021 de <https://app.greenrope.com/content/Fuel-Cell-Electric-Trucks-Vision-CaFCP.pdf>
- Cámara de Diputados. (2019). *Ficha técnica del tren Maya: Aspectos legislativos, ambientales, económicos y socio-culturales*. Ciudad de México: Cámara de Diputados de México. Recuperado en Septiembre 2022, de <https://www.trenmaya.gob.mx/wp-content/uploads/2021/01/Ficha-Te%CC%81cnica-Tren-Maya.pdf>
- CANACAR. (2019). *Agenda Económica del Autotransporte de Carga*. Cámara Nacional del Autotransporte de Carga.
- CANACAR. (2019). *Conociendo la industria del autotransporte de carga*. Cámara Nacional del Autotransporte de Carga.
- CANACAR. (2020). *Anuario, La fuerza del autotransporte de carga 2020*. Cámara Nacional del Autotransporte de Carga.
- CANACAR. (2020, Enero 7). *Capítulo 7 del TMEC, clave para fortalecer al transporte de carga en NAFTA: IRU*. Cámara Nacional del Autotransporte de Carga. Recuperado en 2021 de <https://canacar.com.mx/general/capitulo-7-del-tmec-clave-fortalecer-al-transporte-carga-nafta-iru/>
- CCE-CMIC. (2018). *Infraestructura sostenible 2030. Política pública de infraestructura para el crecimiento y el bienestar*. Consejo Coordinador empresarial, Camara Mexicana de la Industria de la Construcción. Recuperado en 2021 de https://www.cmic.org.mx/29congreso/ponencias/assets/infraestructura_2030_completo.pdf
- City-Southern, K. (2021). Página oficial de KSC México. *Página oficial de KSC México*. Recuperado en 2021 de <https://www.kcsouthern.com/es-mx/>
- CloudMoyo. (2020). *Explore los principales beneficios del análisis de big data para ferrocarriles*. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de CloudMoyo: <https://rail.cloudmoyo.com/blog/explore-the-top-benefits-of-big-data-analytics-for-railways/>
- COFECE. (2021). *Estudio de competencia en el servicio público de transporte ferroviario de carga*. Comisión Federal de Competencia Económica.
- Conde, A. (2021). *Inteligencia artificial en el sector ferroviario*. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de Revista de Obras Públicas: <https://www.revistadeobraspublicas.com/articulos/inteligencia-artificial-en-el-sector-ferroviario/>
- Connor, P. (2019). *Automatic Train Control*. Recuperado en Octubre 28, 2021, de The Railway Technical: <http://www.railway-technical.com/signalling/automatic-train-control.html>
- Consultora-Berger. (2021). *Trends in the truck and trailer market*. Roland Berger Consultants.
- Correa Espinal, A. A., Cogollo Flórez, J. M., & Salazar López, J. C. (2010). Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos. *Producción+ Limpia*, 5, 95–104.

- Cottrell, W. (2015, Octubre 6). *A Very Brief History of Automation in Transportation*. Recuperado en Octubre 27, 2021, de <http://www.advancedtransit.org/library/news/a-very-brief-history-of-automation-in-transportation/>
- Cruz-González, G. (2015). *Elasticidad producto del empleo de los trabajadores del sector transporte en México*. Tech. rep., Instituto Mexicano del Transporte.
- CYLUS. (2021). *CYLUSONE*. Recuperado en Noviembre 1, 2021, de <https://www.cylus.com/cylusone-rolling-stock>
- DieselNet (n. d.). Tier 4 Stamdars. Recuperado en 2022 de <https://dieselnet.com/standards/us/nonroad.php>
- Dixit, S., Danekar, R., & Prasad, E. (2021, Diciembre). *Mercado de trenes híbridos Allied Market Research*. Recuperado en Octubre 29, 2021, de <https://www.alliedmarketresearch.com/hybrid-trains-market-A07150>
- DOF. (2016). *Criterios de Aplicación de la Corresponsabilidad en la prestación del servicio que ampara la Carta de Porte o Comprobante que Ampara el Transporte de Mercancías*.
- DOF. (2020). *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020 - 2024*. Recuperado en 2021 de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596042&fecha=02/07/2020
- Dorado, M. L., Mendoza, A., & Abarca, E. (2016). *Visión cero en seguridad vial: Algunas oportunidades de implementación en México*. Publicación técnica 466. Instituto Mexicano del Transporte.
- Dotter, F., Lennert, F., & Patatouka, E. (2019). *Smart Mobility Systems and Services: Roadmap 2019*. European Commission.
- Equal Times . (2020). *Equal Times* . Recuperado en Noviembre 25, 2021, de <https://www.equaltimes.org/llegan-los-trenes-sin-conductor?lang=es#.YaAQnFXMLIU>
- Exsome-Zapata, R. F. (2019). *Infraestructura y FFCC de carga (libramientos, convivencia urbana y cruces a nivel)*. XVII Congreso Exporail 2019.
- Ferromex. (2021). *Página oficial de Ferromex*. Recuperado en 2021 de <https://www.ferromex.com.mx/>
- Ferrovalle. (2021). *Página oficial de Ferrovalle*. Recuperado en 2021 de <https://www.ferrovalle.com.mx/>
- Fishman, T. D., Kelkar, M., Schwartz, A., Nicol, J. B., & Sen, R. (2020). *Transportation trends 2020*. Tech. rep., Deloitte.
- Fonatur. (2020). *Fonatur electrifica los tramos Mérida-Cancún-Chetumal del Tren Maya*. Fondo Nacional de Fomento al Turismo. Recuperado en Noviembre 9, 2021, de <https://www.trenmaya.gob.mx/electrificacion/>
- Forum, G. e.-M. (2021). *Driving Change Together*. Global e-Mobility Forum. Recuperado en 2021 de <https://globalemobilityforum.ios.edu.pl/>
- Freightliner. (2021). *Página oficial de Freightliner México*. Recuperado en 2021 de <https://www.freightliner.com.mx/>
- Geels, F. W. (2002). *Technological transitions as evolutionary reconfiguration*. *Research Policy*, 31, 1257–1274.
- GIZ. (2021). *Reporte de los talleres en marco del Mapa de Ruta Tecnológico del Transporte Terrestre en México*. Agencia Alemana para el Desarrollo Sostenible.
- Global Infrastructure Hub. (2020). *IoT for Remote Rail Operations and Maintenance*. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de <https://www.gihub.org/resources/showcase-projects/iot-for-remote-rail-operations-and-maintenance/>
- Goverde, R. (2020). *Trends and developments in the automation of heavy rail operations*. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de Global Railway Review: <https://www.globalrailwayreview.com/article/97734/trends-developments-automation-heavy-rail/>
- Greening, P., Piecyk, M., Palmer, A., & Dadhich, P. (2019). *Decarbonising road freight*. Foresight, Government Office for Science.

- Grupo T21. (2021). "Intimando" logísticamente con un chatbot. *T21*, 1. Retrieved from <http://t21.com.mx/logistica/2021/04/30/intimando-logisticamente-chatbot>
- Grupo-Expansión. (2019). *6 ferrocarrileras que pueden apostar por el Tren Maya*. Recuperado en 2021 de <https://obras.expansion.mx/infraestructura/2019/05/03/6-ferrocarrileras-que-pueden-apostar-por-el-tren-maya>
- Gutiérrez, J., Benítez, C., & Palomares, J. (2020). *Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte: El uso de datos de GPS en el análisis de la movilidad urbana*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado en Noviembre 09, 2021, de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/Como-aplicar-Big-Data-en-la-planificacion-del-transporte-El-uso-de-datos-de-GPS-en-el-an%C3%A1lisis-de-la-movilidad-urbana.pdf>
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. H. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 413-432.
- Hino. (2021). *Página oficial de Hino México*. Recuperado en 2021 de <https://hino.com.mx/>
- Hödl, K. (2019). *Digitalización y Automatización en el Sector Ferroviario: Un tren que Europa no debe perder*. Repositorio Universidad Pontificia Comillas. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/32171/TFG%20Raul%20Gonzalez%20Fabra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoffrichter, A. (2019). Rail travel is cleaner than driving or flying, but will Americans buy in? (M. S. University, Ed.) *The Conversation*. Recuperado en 2021 de <https://theconversation.com/amp/rail-travel-is-cleaner-than-driving-or-flying-but-will-americans-buy-in-112128/>
- Hofmann, E., & Rüschi, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- IEA. (2014). *Energy Technology Roadmaps a guide to development and implementation*. Tech. rep., International Energy Agency.
- IEA. (2019). *El futuro del ferrocarril*. International Energy Agency. Recuperado en Noviembre 1, 2021, de IEA: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- IEEE. (2019). *Revisión: El uso potencial de la tecnología Blockchain en aplicaciones ferroviarias: una introducción de un prototipo de reconocimiento de movilidad y habla*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Xplore. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8622234>
- IMT. (2021). *Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2019*. Instituto Mexicano del Transporte.
- IMT. (2020). *Big Data e Internet de las Cosas para los sistemas inteligentes del transporte. Características y áreas de oportunidad*. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado en Noviembre 9, 2021, de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt626.pdf>
- IMT. (2013). *Aplicación de tecnologías ITS a la seguridad en los corredores logísticos de transporte*. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado en 2021 de http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Seminario-Ingenieria-Vial/SVIII/SVIII-Ponencia-12-Tecnologias-ITS-seguridad-en-los-corredores-logisticos-de-transporte.pdf
- INAES. (2021). *Conoce las cadenas de valor*. Instituto Nacional de la Economía Social. Recuperado en 2021 de <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/conoce-las-cadenas-de-valor?idiom=es>
- Indicador-Automotriz. (2020). Impacto del COVID-19. *Indicador Automotriz*, 317. Recuperado en 2021 de <https://www.indicadorautomotriz.com.mx/indicadores/>
- Indicador-Automotriz. (2020). Líderes productores 2020. *Indicador Automotriz*, 320. Recuperado en 2021 de <https://www.indicadorautomotriz.com.mx/indicadores/>
- Indicador-Automotriz. (2020). Robo y recuperación de unidades en 2019. *Indicador Automotriz*, 315. Recuperado en 2021 de <https://www.indicadorautomotriz.com.mx/indicadores/>
- Indicador-Automotriz. (2021). Parque Vehicular de Carga en el 2020. *Indicador Automotriz*. Recuperado en 2021 de <https://www.indicadorautomotriz.com.mx/indicadores/>

- Industri. (2020). *El trazado de la industria ferroviaria del futuro*. Industri. Equipamientos de Trenes y Autocares. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de <https://www.industri-sl.com/blog/el-futuro-de-la-industria-ferroviaria/>
- INECC. (2016). Diálogo público-privado sobre los Compromisos Nacionalmente Determinados (CND) de México Sector, Transporte. *Diálogo público-privado sobre los Compromisos Nacionalmente Determinados (CND) de México Sector, Transporte*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado en 2021 de <https://www.inecc.gob.mx/dialogos/>
- INEGI. (2019). *Encuesta Anual de Transportes*. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.
- Interesting Engineering. (2020). *Privacy Policy*. Interesting Engineering. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de <https://interestingengineering.com/privacy-policy#settings>
- Izquierdo Martínez, C. (2017). *Aplicación de la IoT al ámbito del transporte. Auto-gestión del tráfico de vehículos inteligentes*. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Kenworth. (2021). *Página oficial de Kenworth México*. Recuperado en 2021 de <https://www.kenworth.com.mx/>
- Lajevardi, S. M., Axsen, J., & Crawford, C. (2019). Comparing alternative heavy-duty drivetrains based on GHG emissions, ownership and abatement costs: Simulations of freight routes in British Columbia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 19-55. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.031>
- Landale, J. (2020). ¿Qué significará el fin de la dependencia del petróleo para la geopolítica? *BBC News*. Recuperado en Noviembre 25, 2021, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50986738>
- Levy-Bencheton, C., Darra, E., Bachlechner, D., & Friedewald, M. (2015). Cyber security for smart cities—An architecture model for public transport. *The European Union Agency for Network and Information Security, Tech. Rep.*
- Liccardi, S. (2018). *Construyendo el futuro alimentando el presente con Experiencia, Tecnologías y Innovación*. Metro Latinoamérica. Recuperado en Octubre 28, 2021, de <https://www.metro-latinoamerica.com/wp-content/uploads/2018/11/ansaldo.pdf>
- LIISE. (n.d.). *Perspectiva del Cambio Multinivel*. Laboratorio Iberoamericano de Innovación Socioecológica. Recuperado en 2021 de <https://liiise.org/innovacio-socioecologica-2021/enfoque-multinivel-2021/>
- López, J. F. (2018). *Retos del Sistema Ferroviario Mexicano*. Techreport, Cámara de la industria de la transformación de Nuevo León.
- López, T. G. (2020). La Ley General de Cambio Climático mexicana, tras la entrada en vigor del Acuerdo de París. *Crisis climática, transición energética y derechos humanos*, (pp. 253–266).
- MAFEX. (2015). *Mafex y el Sector Ferroviario Español*. Asociación de la Industria Ferroviaria Española. Recuperado en 2021 de <http://magazine.mafex.es/wp-content/uploads/2015/04/2014-Mafex-y-el-Sector-Ferroviario-Espanol.pdf>
- Market Research Future. (2021). *Railway Platform Security Market is Expected to Register a CAGR of 5.5% During 2020-2027*. GlobeNewswire. Recuperado en Noviembre 5, 2021, de <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/07/07/2259332/0/en/Railway-Platform-Security-Market-is-Expected-to-Register-a-CAGR-of-5-5-During-2020-2027-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>
- Markets and Markets. (2021). *Hybrid Train Market*. Recuperado en Octubre 29, 2021, de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hybrid-train-market-238438631.html>
- Martinez, N., Sierra, L., Jano-Ito, M., Olea, F., Ruiz, A., & Ramones, F. (2020). *Rutas sectoriales de descarbonización para México al 2030 y proyecciones a 2050*. Tech. rep., Iniciativa Climática de México. Recuperado en 2021 de http://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2021/03/PresupuestoCarbono_DOC-POL.pdf
- McKinnon, A. (2021). More Efficient and Sustainable Freight Transport Contribution of Technology. *Virtual Conference on Green Fleets*.
- Meyer, G., Blervaque, V., & Haikkola, P. (2019). STRIA Roadmap on Connected and Automated Transport: Road, Rail and Waterborne.

- Miscevic, G., Tijan, E., Žgaljić, D., & Jardas, M. (2018). Emerging trends in e-logistics. *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, (pp. 1353-1358). doi:10.23919/MIPRO.2018.8400244
- Moreno, E., Rico, Ó., Bustos, A., Martner, C., & Montoya, R. (2014). *Reparto modal óptimo del transporte terrestre de carga en México: Segunda Etapa*. Techreport, Instituto Mexicano del Transporte.
- Muzira, S., & Peralta, T. (2018). *El futuro del transporte ya está aquí. ¿Estamos preparados?* Recuperado en 2021 de <https://blogs.worldbank.org/es/voices/el-futuro-del-transporte-ya-esta-aqui>
- Nakarmi, N., & Singh, S. (2019). Smart infrastructure for sustainable public transportation. *Proceedings of IOE Graduate Conference*.
- Niestadt, M., Debyser, A., & Scordamaglia, D. (2019). *Artificial intelligence in transport*. European Parliament. Recuperado en Noviembre 04, 2019, de [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635609/EPRS_BRI\(2019\)635609_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635609/EPRS_BRI(2019)635609_EN.pdf)
- Niestadt, M., Debyser, A., Scordamaglia, D., & Pape, M. (2019). *Artificial intelligence in transport: Current and future developments, opportunities and*. European Parliament. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635609/EPRS_BRI\(2019\)635609_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/635609/EPRS_BRI(2019)635609_EN.pdf)
- NPM. (2021). *Nationale Plattform Zukunft der Mobilität*. Recuperado en Noviembre 25, 2021, de <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/en/>
- Obras por Expansión. (2018). *El Tren México-Toluca usará un frenado único en Latinoamérica*. Recuperado en Noviembre 09, 2021, de <https://obras.expansion.mx/infraestructura/2018/12/26/el-tren-mexico-toluca-usara-un-frenado-unico-en-latinoamerica>
- OCDE. (2017). *Revisión de la Regulación del Transporte de Carga en México*. Tech. rep., Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Recuperado en 2021 de <https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/Resumen-Regulacion-Transporte-Mexico.pdf>
- OCDE. (2022). *Short Term Indicators*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Recuperado en 2021 de https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ITF_SHORT_TERM_INDIC
- OCDE. (2021). *Transport Outlook 2021*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Tech. rep., International Transport Forum. Recuperado en 2021 de <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/16826a30-en>
- OCDE-ITF. (2014). *Freight Railway Development in Mexico*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - Foro Internacional de Transporte. Tech. rep., ITF. Recuperado en 2021 de <https://www.itf-oecd.org/freight-railway-development-mexico>
- ONU. (2015). *Acuerdo de París*. Tech. rep., Organización de las Naciones Unidas. Recuperado en 2021 de https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- ONU. (2020). *Declaración de Estocolmo Tercera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial: Alcanzar los objetivos mundiales para 2030*. Tech. rep., Organización de las Naciones Unidas. Recuperado en 2021 de <https://www.roadsafetysweden.com/contentassets/b37f0951c837443eb9661668d5be439e/stockholm-declaration-spanish.pdf>
- OPR. (2021). *Tercer Informe de Gobierno, México*. Oficina de Presidencia de la República.
- Pérez Mantilla, S. (2019). El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. *Centre for Technology Management, University of Cambridge*, 1-18.
- PNUMA. (2020). *Carbono Cero America Latina y el Caribe*. (K. Pastor, Ed.) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado en 2021 de <https://cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/documentos-herramientas/category/informe-carbono-cero>

- Project Drawdown. (2021). *Trenes Eléctricos*. Project Drawdown Recuperado en Noviembre 09, 2021, de <https://drawdown.org/solutions/electric-trains>
- ProMedia Group. (2021). *Artificial intelligence for greener rail: is this the future?* RailFreight. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de <https://www.railfreight.com/railfreight/2021/07/30/artificial-intelligence-for-greener-rail-is-this-the-future/?gdp=accept>
- Puebla, J. G., et al (2020). *Cómo aplicar Big Data en la planificación del transporte: El uso de datos de GPS en el análisis de la movilidad urbana*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- PWC. (2016). *Shifting patterns The future of the logistics industry*. (PWC, Ed.) PwC's future in sight series. Recuperado en 2021 de <https://www.pwc.com/sg/en/publications/assets/future-of-the-logistics-industry.pdf>
- PWC. (2019). *Five Forces Transforming Transport & Logistics PWC CEE Transport & Logistics Trend Book*. PWC. Recuperado en 2021 de <https://www.pwc.com/m1/en/industries/documents/transport-logistics-trendbook-2019-en.pdf>
- Rødseth, Ø. J., Godziejewski, B., Grand-Perret, S., Merat, N., & van Schijndel-de Nooij, M. (2016). STRIA roadmap-connected and automated transport (CAT).
- RSSB. (2020). *Blockchain in rail: Where do we go from here?* Rail Safety and Standards Board. Recuperado en 2021 de <https://www.rssb.co.uk/what-we-do/insights-and-news/blogs/blockchain-in-rail-where-do-we-go-from-here>
- Ruiz, P. (2017). *Estudio sobre el potencial de mercado de vehículos comerciales y pesados, y su relación con la estructura económica mexicana*. Tech. rep., ANPACT-AMDA-UNAM.
- Ruiz-Nápoles, P. (2017, July). *Estudio sobre el potencial de mercado de vehículos comerciales y pesados, y su relación con la estructura económica mexicana*. Tech. rep., UNAM, AMDA, AMPACT.
- Salazar, J. C. (2019). *Recomendaciones de política para la integración de tecnologías ecológicamente racionales en los sistemas nacionales de innovación*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Sánchez-Vela, L. G., de Jesús Fabela-Gallegos, M., Hernández-Jiménez, J. R., Flores-Centeno, O., Vázquez-Vega, D., & Cruz-Acevedo, M. E. (2020). *Estado del arte de la movilidad eléctrica en México*. Tech. rep., Instituto Mexicano del Transporte.
- Scania. (2021). *Página oficial de Scania México*. Recuperado en 2021 de <https://www.scania.com/mx/es/home.html>
- Schweitzer, L., Brodrick, C.-J., & Spivey, S. E. (2008). Truck driver environmental and energy attitudes—an exploratory analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13, 141–150.
- SEMARNAT. (2021). *Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024*. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. Recuperado en 2021 de https://dof.gob.mx/2021/SEMARNAT/SEMARNAT_081121_EV.pdf
- SEMARNAT. (2022). *Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC). Actualización 2022*. INECC-SEMARNAT. Recuperado en 2022 de https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Mexico_NDC_UNFCCC_update2022_FINAL.pdf
- SENER. (2019). *Balance Nacional de Energía 2019*. Secretaría de Energía.
- SICT. (2021). *Boletín Directivo Mensual de la Dirección General de Autotransporte Federal*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SICT. (2021). *Estadística Básica 2021*. Retrieved from Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes: <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2021/>
- SICT. (2021). *Reporte de las entrevistas en marco del Mapa de Ruta Tecnológico del Transporte Terrestre en México*.
- SICT. (2021). *Reporte de los talleres en marco del Mapa de Ruta Tecnológico del Transporte Terrestre en México*.

- SICT. (2020). *Estadística Básica del Autotransporte Federal*. Tech. rep. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SICT. (2020). *Principales estadísticas del sector comunicaciones y transportes 2020*. Tech. rep., Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- SICT. (Varios Años). Estadística Básica. *Estadística Básica*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado en 2021 de <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/>
- Stafford, B. (2018). *Which Materials Are Making The Hyperloop Possible?* Matmatch. Recuperado en Noviembre 1, 2021, de <https://matmatch.com/resources/blog/materials-for-the-hyperloop/>
- StartUs Insights. (2021). *5 Top Rolling Stock Solutions Impacting The Railroad Industry*. StartUs Insights. Recuperado en Octubre 28, 2021, de <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/5-top-rolling-stock-startups-impacting-the-railroad-industry/>
- T21. (2020). *Propone Cofece modificar ley del servicio ferroviario y analizar concesiones*. Grupo T21. Recuperado en Noviembre 9, 2021, de <http://t21.com.mx/ferroviario/2020/10/14/propone-cofeca-modificar-ley-servicio-ferroviario-analizar-concesiones>
- TDI. (2021). *Plan maestro de transporte fronterizo 2021*. Tech. rep., Departamento de Transporte de Texas.
- Technology, P. (2018). Container Terminal Automation Conference Automated Intelligence & AI. *Container Terminal Automation Conference*. Recuperado en 2021 de https://globalmaritimehub.com/wp-content/uploads/2018/03/Neil_Davidson_presentation_2018.pdf
- Teletrac. (2021). *Página oficial de Teletrac*. Recuperado en 2021 de <https://www.teletracnavman.com.mx/>
- TF. (2021). *Key Transport Statistic 2021 (Data)*. International Transport Forum.
- The Conversation. (2017). *Coming soon to a highway near you: truck platooning*. The Conversation. Recuperado en 2021 de <https://theconversation.com/coming-soon-to-a-highway-near-you-truck-platooning-87748>
- TMR. (2021). *Hydrogen Trains Market*. Transparency Market Research. Recuperado en Octubre 29, 2021, de <https://www.transparencymarketresearch.com/hydrogen-trains-market.html>
- TMR. (2021). *Hydrogen Trains Market - Insights, Size and Outlook 2027*. Transparency Market Research. Recuperado en 5, 2021, de <https://www.transparencymarketresearch.com/hydrogen-trains-market.html>
- UIC. (2021). *Artificial intelligence*. International Union of Railways. Recuperado en Noviembre 4, 2021, de https://uic.org/IMG/pdf/artificial_intelligence_case_of_the_railway_sector_state_of_play_and_perspectives.pdf
- UIC. (2021). *Las tecnologías autónomas en el ferrocarril discutidas en un exitoso seminario web dedicado*. International Union of Railways. Recuperado en Octubre 28, 2021, de https://uic.org/com/enews/article/autonomous-technologies-in-rail-discussed-at-a-successful-dedicated-webinar?var_recherche=Artificial%20intelligence%20
- UN. (2012). *Intelligent transport systems (ITS) for sustainable mobility*. UN. ECE. Transport-Division. Recuperado en 2021 de https://digitallibrary.un.org/record/753049/files/Intelligent_Transport_Systems_for_Sustainable_Mobility.PDF
- Van Alphen, K., Hekkert, M. P., & van Sark, W. G. (2008). Renewable energy technologies in the Maldives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162-180.
- Villalobos, J. (2010). Seguridad en la operación del transporte de carga carretero.
- Volvo. (2021). *Página oficial de Volvo Buses*. Recuperado en 2021 de <https://www.volvobuses.com/mx/>
- West, D. M. (2016). Moving forward: Self-driving vehicles in China, Europe, Japan, Korea, and the United States. *Center for Technology Innovation*. Recuperado en 2021 de <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/09/driverless-cars-2.pdf>

West, D. M. (2019). *Securing the future of driverless cars*. Tech. rep., The Brookings Institution. Recuperado en 2021 de <https://www.brookings.edu/research/securing-the-future-of-driverless-cars/>

Whitmarsh, L. (2012). How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research? *Journal of Transport Geography*, 42, 483–487.

Youd, F. (2021). *Next stop, hydrogen? The future of train fuels*. Railway Technology. Recuperado en Octubre 29, 2021, de <https://www.railway-technology.com/features/next-stop-hydrogen-the-future-of-train-fuels/>

ANEXO

ESQUEMA DEL MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA DEL TRANSPORTE TERRESTRE EN MÉXICO

Simbología

→ Dependencia entre acciones

Tendencia tecnológica

- La digitalización de las operaciones
- Tecnologías de alimentación y eficiencia energética
- Vehículos automatizados y robóticos

Pilares del transporte terrestre

- Operación
- Vehículos
- Infraestructura
- Logística
- Todos los pilares





**GOBIERNO DE
MÉXICO**

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES