

VEHÍCULOS CERO EMISIONES

TRANSPORTE DE CARGA

Estado actual y necesidades para la electromovilidad del transporte de carga en Baja California.

Julio 2024



BAJA CALIFORNIA
GOBIERNO DEL ESTADO

ECONOMÍA
Secretaría de Economía e Innovación

En colaboración con:



CANACAR
CÁMARA NACIONAL DEL AUTOTRANSPORTE DE CARGA

Editorial

Estado actual y necesidades para la electromovilidad del transporte de carga en Baja California.

Reporte elaborado con la participación de consultores por encargo de la Secretaría de Economía e Innovación del Estado de Baja California, en colaboración con la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga – Región Noroeste.

SUPERVISIÓN

C. P. Kurt Ignacio Honold Morales

Secretario de Economía e Innovación

Mtro. José Saúl De los Santos Gómez

Subsecretario de Planeación Económica

Ing. Josué Alberto Valenzuela Ahumada

Coordinador Ejecutivo de Difusión Económica

EN COLABORACIÓN CON

Israel Delgado Vallejo

Vicepresidente de la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga – Región Noroeste

CONSULTORES

MAE Solutions

Dr. José Alejandro Suástegui Macías

Dr. Jesús Armando Aguilar Jiménez

Coordinadores

COLABORACIÓN ESPECIAL

Otay Mesa Chamber of Commerce
Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones, A.C.,
Comisión Estatal de Energía de Baja California

El contenido de este reporte ha sido preparado tomando en consideración fuentes oficiales, información pública, información académica y comercial, así como entrevistas y consultas a expertos en la materia.

Los datos presentados están destinados únicamente a fines informativos. Las aseveraciones, opiniones y recomendaciones expresadas no necesariamente reflejan las políticas y posturas oficiales de la Secretaría de Economía e Innovación y Gobierno del Estado de Baja California. El uso que algún particular u organización le dé al contenido de este reporte es responsabilidad exclusiva de estos.

La reproducción o transmisión total o parcial de este documento por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) debe realizarse citando debidamente a este documento como fuente.

Secretaría de Economía e Innovación de Baja California.

FECHA DE PUBLICACIÓN

Julio 2024

COMPROMISO CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Objetivos abordados



Contenido

Editorial	2
Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	7
Resumen ejecutivo.....	10
1. Introducción	15
2. Características del transporte de carga en Baja California	18
2.1 Caracterización general de la demanda de transporte de carga.....	19
2.2 Estructura de la oferta de transporte de carga en Baja California	21
2.3 Condiciones ambientales y de infraestructura del transporte de carga en Baja California	24
3. Integración económica y logística en la región CALIBAJA	26
3.1 Importaciones y Exportaciones en Baja California por medio de autotransporte	27
3.2 Caracterización de las flotillas de unidades de Baja California que cruzan a Estados Unidos	28
4. Lineamientos para la transición a la movilidad cero emisiones del transporte de carga en el estado de California	31
4.1 Marco normativo y calendario de transición.....	31
4.2 Principales incentivos en California.....	39
5. Marco normativo para la movilidad cero emisiones en México.....	43
5.1 Compromisos internacionales en materia de movilidad eléctrica de México.....	44
5.2 Normatividad Nacional para fomentar la transición a la movilidad eléctrica.....	45
5.3 Regulación estatal	48
5.4 Incentivos para la movilidad eléctrica en México	48
6. Alternativas tecnológicas e implicaciones técnicas de la implementación del autotransporte de carga cero emisiones.....	51
6.1 Clasificación de los vehículos de carga mediana y pesada.....	51
6.2 Características generales de los tractocamiones eléctricos.....	52
6.3 Características generales de los tractocamiones de celda de hidrógeno	59
6.4 Comparativa entre vehículos eléctricos y de hidrógeno para carga mediana y pesada	64

6.5	Comparativa de emisiones de CO ₂ de camiones diésel vs eléctricos: escenario nacional	67
6.6	Oferta de unidades cero emisiones de México (producción, importación, exportación y ventas).....	69
7.	Perspectivas de las empresas operadoras de transporte de Baja California respecto a las políticas de transición de California	72
7.1	Nota metodológica	72
7.2	Resultados de la investigación	73
8.	Requerimientos para la transición al transporte de carga cero emisiones	86
8.1	Requisitos legales para la infraestructura de recarga.....	86
8.2	Regulaciones para infraestructura de estaciones de recarga de hidrógeno	87
8.3	Estaciones de carga eléctrica de camiones medianos y pesados en México.....	90
8.4	Ejemplo de facturación eléctrica de camiones eléctricos en Baja California	91
8.5	Requerimientos para camiones eléctricos	92
8.6	Requerimientos para camiones de hidrógeno	93
8.7	Potencial del Hidrógeno en Baja California	93
8.8	Modernización de infraestructura eléctrica en Baja California	94
9.	Proyección de escenarios hacia el 2050: Desafíos y oportunidades en la movilidad eléctrica del autotransporte de carga en Baja California.....	99
9.1	Escenario bajo el contexto regulatorio de California.....	99
9.2	Escenarios de transición bajo contexto estatal.....	103
9.3	Análisis de escenarios de proyección	108
10.	Elementos para una transición a cero emisiones en Baja California.....	108
10.1	Cooperación binacional en material de movilidad cero emisiones.....	109
10.2	Diseño de estímulos para la movilidad cero emisiones en Baja California	109
10.3	Promoción de regulaciones en el estado	110
10.4	Desarrollo de infraestructura de recarga pública.....	110
11.	Conclusiones	113
	Referencias.....	115

Lista de tablas

Tabla 1. Principales Exportaciones de Baja California a Estados Unidos en 2019	18
Tabla 2. Tipos de carga y volumen transportado en Baja California (Año 2020).....	19
Tabla 3. Flujos de transporte de carga en Baja California (Año 2020).....	20
Tabla 4. Características de la demanda de transporte de carga en Baja California (Datos de 2020).....	21
Tabla 5: Distribución de la flota de unidades motrices de autotransporte de carga en Baja California por clase (2022).....	23
Tabla 6. Reducción de Emisiones de CO2 en el Transporte de Carga en Baja California (2015-2020) ...	24
Tabla 7. Límites de Peso Neto para Vehículos de Carga en Baja California.....	24
Tabla 9. Calendario de transición para <i>ZEV Milestones Option</i>	36
Tabla 10. Incentivos para la movilidad eléctrica en México.	50
Tabla 11. Clasificación vehicular por peso en Estados Unidos.....	51
Tabla 12. Clasificación vehicular por peso en México	53
Tabla 13. Fabricantes, y principales características de tractocamiones eléctricos de carga.....	55
Tabla 14. Fabricantes y modelos de camiones unitarios y tractocamiones eléctricos de carga disponibles en México	56
Tabla 15. Resumen de los tipos de recarga estacionaria por cable.....	57
Tabla 17. Especificaciones de los HDV de hidrógeno disponibles a nivel mundial en el 2023.	60
Tabla 18. Especificaciones de HDV de hidrógeno disponibles en Norteamérica	61
Tabla 19. Comparativa costos de producción por kilogramo de hidrógeno.....	63
Tabla 20. Componentes de una estación para recarga de hidrógeno	63
Tabla 21. Comparativa de tecnologías para MHDV`s proyectados al 2030-2050	64
Tabla 22. Comparativa cualitativa para tecnologías de transporte MHDV`s	67
Tabla 23. Emisiones de GEI por 100 km recorridos.....	68
Tabla 24. Marcas y cantidad de camiones eléctricos producidos en México desde el 2018.	70
Tabla 25. Distribución de las configuraciones vehiculares de las organizaciones encuestadas.....	75

Tabla 26. Distribución del combustible utilizado actualmente por clasificación vehicular.	77
Tabla 27. Proporción de vehículos tipo de combustible considerados para ser adquiridos.....	79
Tabla 28. Contribución percibida por distintos esquemas de incentivos.	82
Tabla 29. Estándares ISO referentes al uso del hidrógeno en el sector transporte.....	89
Tabla 30. Centros de recarga eléctrica de camiones medianos y pesados en México	91
Tabla 31. Facturación eléctrica mensual y anual para una estación de carga de 150 kW de potencia, operando 24-7.....	92
Tabla 32. Costos promedio de recarga eléctrica (pesos mexicanos).	92
Tabla 33. Resumen de situaciones de atención especial y sus posibles alternativas	112

Lista de figuras

Figura 1. Cruces fronterizos de vehículos de carga en Baja California.....	22
Figura 2. Tipo de empresas transportistas y su porcentaje con unidades transfer registradas en México.	23
Figura 3. Importación de mercancías según modo de transporte (millones de dólares). 2021*-2022* acumulado enero-junio. Fuente: Agenda Económica del Autotransporte de Carga. CANACAR (2022)	28
Figura 4. Exportación de mercancías según modo de transporte (millones de dólares). 2021*-2022* acumulado enero-junio. Fuente: Agenda Económica del Autotransporte de Carga, CANACAR [6]......	29
Figura 5. Comparación de la participación de los vehículos de carga y pasaje en los distintos cruces fronterizos. Los datos presentados reflejan la distribución de vehículos de carga y pasaje en los cruces fronterizos de Sonora, Baja California, Chihuahua (Nuevo México) y Chihuahua, Nuevo Laredo y Tamaulipas (Texas) del año 2017 a junio de 2023.	30
Figura 6. Antecedentes regulatorios en materia de vehículos cero emisiones en California, Estados Unidos. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 7. Porcentaje de ventas de ZEV y NZEV requeridos por el ACT. Fuente: Elaboración propia con información de CARB.....	33
Figura 8. Calendario de transición para las flotas de acarreo que entran y salen de puertos marítimos y terminales intermodales ferroviarias de California, según las ACF. Fuente: Elaboración propia con información de CARB.....	35
Figura 9. Caso 1: Unidades de ZEV que deben de contar las organizaciones por año en función del ZEV Milestone Option y la Model Year Schedule.....	37
Figura 10. Caso 2: Unidades de ZEV que deben de contar las organizaciones por año en función del ZEV Milestone Option y la Model Year Schedule.	38
Figura 11. Compromisos internacionales recientes de México en materia de movilidad cero emisiones. Fuente: Elaboración propia con información de [20,21].	43
Figura 12. Normatividad Nacional para fomentar la transición a la movilidad eléctrica. Fuente: Elaboración propia con información de [20].	44
Figura 13. Resumen de las metas propuestas para la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. Fuente: elaboración propia con información de la propuesta de la ENME [20].	47
Figura 14. Diagramas esquemáticos de los vehículos de carga media y pesada en México. Elaboración propia con información de NOM-012-SCT-2-2017.....	52
Figura 15. Ventas anuales globales de camiones a baterías eléctricas (BEV), híbridos enchufables (PHEV) y de celdas de combustible (FCEV). Elaboración propia con información de la Agencia Internacional de Energía [30].....	54

En colaboración con:

Figura 16. Distintos tipos de cargadores para tractocamiones eléctricos. Fuente: elaboración propia.56

Figura 17. Tipos de conectores de carga para vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia con información de [43]. *CE: Comunidad Europea..... 59

Figura 18. MHDV de hidrógeno para carga pesada disponibles en Norteamérica. 62

Figura 19. Modelos de camiones de carga eléctricos y de hidrógeno en función de su peso y autonomía. Fuente: elaboración propia..... 65

Figura 20. Proyección del costo de adquisición de distintas tecnologías de camiones de carga clase 8 entre el año 2022 al 2040. Fuente: Modificado de [54]..... 66

Figura 21. Ventas y producción de camiones de carga eléctricos e híbridos en México en el periodo de 2018 a 2023. *El año 2023 considera información hasta el mes de noviembre. Fuente: elaboración propia con información de INEGI [59]. 69

Figura 22. Exportación e importación de camiones de carga eléctricos e híbridos en México (2018-2023*). Fuente: Elaboración propia con base en el informe Importación y Exportación de vehículos pesados [8] y el Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Pesados (RAIAMP, 2023). * Las cifras son hasta noviembre de 2023..... 70

Figura 23. Distribución geográfica de las ubicaciones sede de organizaciones operadoras de vehículos de transporte de carga por municipio. Fuente: Elaboración propia..... 74

Figura 24. Distribución de las flotillas por cantidad de vehículos y municipio. Fuente: Elaboración propia..... 75

Figura 25. Distancia recorrida promedio por viaje transfronterizo. Fuente: Elaboración propia. 76

Figura 26. Calificación promedio de la capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad Model Year Schedule. Fuente: elaboración propia.80

Figura 27. Calificación promedio de la capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad ZEV Milestones Option por grupos. Fuente: elaboración propia..... 81

Figura 28. Clasificación de las organizaciones encuestadas. Fuente: Elaboración propia..... 83

Figura 29. Capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad Model Year Schedule por categorías de las flotillas. Fuente: elaboración propia.84

Figura 30. Capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad ZEV Milestones Option por grupos y categorías de flotillas. Fuente: elaboración propia...84

Figura 31. Contribución percibida por distintos esquemas de incentivos por categorías de flotillas para promover la transición a la movilidad cero emisiones del transporte de carga. Fuente: Elaboración propia..... 85

Figura 32. Ejemplo de facturación eléctrica para el sector doméstico cuando se tiene un vehículo eléctrico con y sin medidores separados. Fuente: CFE [71]. 87

Figura 33. Colores del hidrógeno según el tipo de tecnología empleada. Fuente: Elaboración propia con información de GIZ [79]. 94

Figura 34. Capacidad instalada de la generación distribuida fotovoltaica en Baja California en el periodo 2018-2023. Fuente: Elaboración propia con información de CRE [81]. 96

Figura 35. Zonas donde se han instruido acciones de mejora en Baja California, según el PAMRNT [82]. (a) zona Tijuana, (b) zona Ensenada y (c) zona Mexicali. 98

Figura 36. Escenario de proyección de unidades cero emisiones en Baja California bajo el contexto regulatorio del ACF de California, para el periodo de 2024-2050. 100

Figura 37. Porcentaje de unidades cero emisiones del total de unidades transfer en Baja California bajo el contexto del ACF de California, para el periodo de 2024-2042. 100

Figura 38. Consumo de energía eléctrica proyectado en Baja California para el periodo de 2024-2050 y porcentaje del total de energía consumida, considerando el efecto del ACF de California en nuestro estado. 101

Figura 39. Reducción de emisiones de CO₂e en Baja California en millones de toneladas anuales para el periodo de 2024-2050, considerando el efecto del ACF de California en nuestro estado. 102

Figura 40. Factor de preferencia para los escenarios acelerado, promedio y lento. Modificado de [22]. 104

Figura 41. Unidades cero emisiones que se incorporarían en Baja California para el periodo del 2024-2050, considerando los tres escenarios. 105

Figura 42. Porcentaje de unidades cero emisiones del total de la flota de camiones en Baja California para el periodo del 2024-2050, considerando los tres escenarios. 106

Figura 43. Consumo de energía eléctrica proyectado en Baja California para el periodo de 2024-2050, considerando los tres escenarios. 107

Figura 44. Reducción de emisiones de CO₂e en Baja California en millones de toneladas anuales para el periodo de 2024-2050, considerando los tres escenarios. 108

Resumen ejecutivo

El estado de Baja California presenta una gran actividad económica de exportación e importación, manteniendo relaciones comerciales con más de 128 países de los cinco continentes del planeta.

Durante el 2022 el estado exportó e importó mercancías con un valor de \$ 55,622 y \$ 48,389 millones de dólares, respectivamente, equivalentes a un 9.4% y 8.6% del total nacional [1]. Sin embargo, de todas las relaciones comerciales, la que se tiene con Estados Unidos es sobresaliente, ya que el 93.9% del total de las exportaciones y un 43.8% de las importaciones corresponden a operaciones con este país.

El transporte de carga por carretera entre Baja California y Estados Unidos es indudablemente el principal medio de transporte de mercancías en la actualidad. Tan solo en el 2021 se realizaron 1,835,819 cruces en los tres puertos fronterizos para transporte de carga de Baja California, con incrementos constantes año con año.

Las principales exportaciones a Estados Unidos corresponden a televisores y monitores, vehículos de motor para el transporte de mercancías (tractocamiones) y dispositivos médicos, equivalentes en su conjunto a un 33% del total de mercancía exportada.

Regulaciones cero emisiones en California

California, Estados Unidos, ha aprobado e iniciado recientemente la implementación regulaciones para avanzar hacia un sector de transporte libre de emisiones, con el objetivo de reducir la contaminación del aire. Estas regulaciones tendrán un impacto directo en Baja California, dado que ambos estados comparten una relación fronteriza en términos comerciales, sociales y turísticos.

Esto requerirá medidas para atender los efectos locales en las empresas de transporte de los lineamientos establecidos en California, con el fin de que el sector pueda dar cumplimiento y se mantenga e incremente una adecuada dinámica comercial binacional.

La transición a la movilidad cero emisiones en el transporte de carga en Estados Unidos, especialmente en California, ha tomado impulso bajo las nuevas regulaciones del *California Air Resources Board* (CARB), como lo son la *Advanced Clean Trucks* (ACT) y la *Advanced Clean Fleets* (ACF), las cuales exigen que un porcentaje creciente de los vehículos de carga nuevos vendidos en el estado sean de cero emisiones, así como reglas para que las organizaciones operadoras de flotillas de camiones de carga de las clases 2 a la 8 sean cero emisiones para el año 2042 o antes, acorde al grupo al que pertenezca cada tipo de unidad.

Lo anterior requiere que los transportistas de carga de Baja California, que ofrecen servicios binacionales realicen una evaluación y planeación de acciones que les permitan una transición a camiones de carga cero emisiones de forma eficiente y viable según les aplique.

Situación tecnológica

En 2023, Estados Unidos contaba con un total de 82 modelos disponibles de camiones eléctricos medianos y pesados, mostrando un incremento de 23.9% en comparación al 2021. En México solo se dispone de 7 modelos de camiones de carga eléctricos en el mercado, en su mayoría medianos.

A pesar de que ya existen modelos con autonomías mayores a los 800 km, la autonomía de los modelos disponibles en México no supera los 250 km de distancia por carga, lo cual es un reto para trayectos largos.

Para el 2024 se espera un incremento en los modelos de camiones eléctricos disponibles, principalmente por el inicio a la venta al público

mexicano de los camiones eléctricos de la empresa Kenworth, mismos que son fabricados en el país, pero actualmente solo para exportación.

Como alternativa a los camiones eléctricos con batería, en Norteamérica solamente existen modelos de camiones de hidrógeno para carga pesada, y estos presentan usualmente autonomías en el rango de los 300 a 800 km. Actualmente no hay modelos comercialmente disponibles de camiones de carga de hidrógeno en México.

Los costos de los camiones eléctricos, así como la infraestructura requerida para su recarga, es un reto para las organizaciones transportistas. Dependiendo de la potencia del cargador o estación de recarga, los costos de adquisición e instalación pueden ir desde cientos de miles hasta varios millones de pesos. Sin embargo, el ahorro económico por utilizar energía eléctrica en lugar de diésel puede ser de más del 58%, dependiendo de la eficiencia del camión y el esquema tarifario que tenga la organización.

Para la alternativa de hidrogeno, además se requiere de regulación en torno a su uso como combustible.

Perspectivas de las organizaciones operadoras de transporte de carga de Baja California

Se analizó la perspectiva de las organizaciones operadoras de transporte de carga en Baja California respecto a las políticas de transición de California, buscando abordar la correlación entre ambas regiones y las posibilidades de una coordinación normativa. Del 93.3% de las organizaciones que participaron en el estudio, que actualmente realizan viajes transfronterizos, el 40.0% estarán sujetas a la regulación *Advanced Clean Fleets*.

Adicionalmente, el 53.3% de las organizaciones están a favor de establecer regulaciones o programas locales compatibles a las

californianas, destacando los beneficios ambientales y la dinámica de los viajes transfronterizos entre ambas entidades, así como la necesidad de hacerlo para mantenerse en el mercado.

Las empresas expresan además la necesidad de acceder a incentivos económicos para solventar la brecha entre el costo de los nuevos equipos y las unidades diésel.

Se subraya la necesidad de aumentar el conocimiento sobre los programas, regulaciones e incentivos, adaptar programas para maximizar su utilidad y respaldar la eventual implementación de regulaciones en Baja California, abogando por la colaboración y alineación entre autoridades de ambas entidades para facilitar una transición efectiva en el sector de transporte de carga hacia la movilidad cero emisiones.

El Gobierno del Estado manifiesta su interés de impulsar al gremio del autotransporte de carga para que mantenga su competitividad ante las condiciones regulatorias y de mercado en California, sea esto mediante la gestión, el apoyo directo a las empresas, así como por lo concerniente a incidir en la infraestructura que incremente la certidumbre a las empresas que transiten hacia las nuevas tecnologías, sin embargo, reconoce también una diferencia en la temporalidad de los procesos de transición entre los dos estados, la existencia de prioridades alternas como la agilización de cruces fronterizos y la mejora de la movilidad en el Estado.

Los gremios de industria, particularmente la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR) y la Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT) reconocen y coinciden que, si bien la transición a transporte de cero emisiones es una tendencia, el esquema planteado en California impone retos e incertidumbres tanto en el ámbito financiero como el técnico que no pueden ser asumidos de igual manera en Baja California.

En colaboración con:

Es evidente que, en el caso de California, aunado a las motivaciones de incidir en un aire más limpio se busca impulsar el mercado de venta de unidades nuevas, eléctricas en principio, detonando actividad económica en torno al sector. Para Baja California esto podrá representar la oportunidad de manufactura de partes y unidades completas que atiendan la demanda que se genera en el vecino estado del norte y que otros estados de la unión americana también seguirán.

Análisis de escenarios

Para efectos de planeación y valoración de alternativas, se analizaron diversos escenarios proyectados hacia el año 2050, centrándonos en el crecimiento de las flotas de transporte de carga en Baja California que por requerimiento de California deberán transitar a cero emisiones y escenarios alternos considerando el contexto estatal.

La información del análisis de escenarios de transición hacia un sector transporte de carga cero emisiones en Baja California es crucial para la planificación estratégica, ya que permite anticipar la demanda energética y la infraestructura necesaria, como estaciones de carga y redes eléctricas, para soportar el incremento de hasta 41,700 unidades eléctricas para 2050 en el escenario regulatorio de California, además, proporciona una base de referencia y aprendizajes para el eventual desarrollo de políticas locales y programas de apoyo que fomenten la adopción de vehículos eléctricos.

A partir del año 2050 los consumos de energía anuales para los camiones de transporte de carga cero emisiones en Baja California se estiman de 3,192 GWh extras a los 37,953 GWh que se tiene proyectados en el estado para ese año. Lo anterior representa un incremento en el consumo del 8.4% más a lo pronosticado por CFE para el 2050, a reserva de que la evolución tecnológica en el tiempo permita mejorar la eficiencia de las unidades.

Asimismo, los datos proyectados de reducción de emisiones de CO₂e, con una disminución acumulada de hasta 44.6 millones de toneladas entre 2024 y 2050, pueden ayudar a que Baja California alcance sus metas ambientales y se posicione como líder en sostenibilidad y tecnología avanzada en el transporte de carga para el país y américa latina.

Infraestructura eléctrica

Las estaciones de recarga eléctrica presentan una gran variedad de capacidad, las cuales pueden ir desde unos cuantos kilowatts hasta más de 1 mega watt, dependiendo de las necesidades de cada usuario o locación.

A mayor capacidad de recarga, menor es el tiempo que se requiere para recargar la unidad eléctrica; en el sector transporte de carga, el tiempo que se tiene detenido un camión es de suma importancia y puede afectar la logística y economía de la organización.

En Baja California, según el Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE), existen situaciones de saturación en algunas subestaciones y nodos del Sistema Interconectado de Baja California, principalmente en la ciudad de Tijuana y Mexicali, que implicaría retos para la instalación de estaciones de recarga de alta capacidad, así como la necesidad del fortalecimiento de las instalaciones disponibles, lo cual debe formar parte del plan a ser implementado.

Lo anterior obligaría a que las organizaciones del sector transporte con camiones de carga eléctricos realicen estudios de capacidad de interconexión para determinar las ubicaciones adecuadas para la instalación de estaciones de recarga, acorde a la disponibilidad de energía y potencia. En el caso del hidrógeno, la situación es distinta, sin embargo, la madurez de esta tecnología y su disponibilidad comercial continúa en proceso.

En colaboración con:

Emisiones de gases de efecto invernadero por uso de camiones eléctricos

El transitar realmente hacia un sector transporte de carga cero emisiones, conllevan que la energía eléctrica que se utiliza para las recargas o para la producción de hidrógeno, en el caso de camiones de celdas de combustible de hidrógeno, sea generada con energías renovables o no contaminantes, de otra forma se logra un impacto ambiental parcial y la relocalización de el punto de emisión de contaminantes.

En México, según datos de la SEMARNAT, el factor de emisión del sistema eléctrico nacional para el año 2022 fue de 0.435 tCO₂e/MWh. En promedio, un camión de carga diésel en México emite 0.909 kg de CO₂e por kilómetro recorrido, mientras que un camión eléctrico de clase 8 puede llegar a consumir 1.1 kWh por kilómetro recorrido.

Con el factor de emisiones del sistema eléctrico nacional, por cada 100 km recorridos por un camión de carga eléctrico, que utilice energía eléctrica del sistema, se estarían emitiendo 47.85 kg de CO₂e, lo cual representa una reducción del 47% en comparación de recorrer la misma distancia, pero con un camión diésel, el cual emitiría en promedio 90.9 kg de CO₂e. Para Baja California este parámetro se verá mejorado con el ingreso al abasto de la energía proveniente de la planta fotovoltaica de Puerto Peñasco, por ejemplo.

El rendimiento de los camiones eléctricos comercialmente disponibles desde hace un par de años, presentan valores de 1.64 kWh por kilómetro recorrido, un 33% más de energía eléctrica requerida por kilómetro que Tesla y Volvo.

Considerando lo anterior, se alcanza una reducción del 22% de las emisiones de CO₂e con la tecnología de camiones eléctricos comercialmente disponible y con la matriz energética actual de México.

Lo anterior nos habla de un mercado nacional relativo a vehículos cero emisiones de carga que aún se encuentra en una etapa temprana.

Incentivos

En cuanto a los incentivos, aunque solo el 40% de las organizaciones conocen al menos uno de los programas de apoyo existentes en California, todas reconocen los beneficios en estos, especialmente por las flotillas de alta prioridad, quienes destacaron el beneficio de las subvenciones monetarias y entrega de cupones para la compra de vehículos cero emisiones.

Las organizaciones de transporte de carga mexicanas, especialmente las que entran en la categoría de flotillas de alta prioridad, no están al tanto de la posibilidad de acceder a ciertos programas de incentivos de Estados Unidos para la transición a la electromovilidad.

Al comparar la percepción de la contribución asociada a los diferentes tipos de incentivos para la adquisición de vehículos de carga entre las organizaciones encuestadas, se observó que aquellas clasificadas como flotillas de alta prioridad valoraron un mayor beneficio en comparación con las organizaciones que no están sujetas a las regulaciones de California.

Esta diferencia puede ser atribuido a que las flotillas dentro de la clasificación de alta prioridad perciben una mayor presión para cumplir con las regulaciones de transición a la movilidad eléctrica cero emisiones.

Dado que usualmente las distancias y tiempos de uso de estas unidades se dan primordialmente en los Estados Unidos y que algunas empresas suelen tener una razón social en dicho país y estar registrados ante el Departamento de Transporte de California (en su caso), se cuestiona severamente la elegibilidad para acceder a los programas de subsidio para compra de unidades nuevas especialmente.

En colaboración con:

Panorama en Baja California

La transición a la movilidad cero emisiones en Baja California presenta una oportunidad significativa para avanzar hacia un futuro más sostenible. La adopción de vehículos de cero emisiones puede reducir los gases de efecto invernadero en el ambiente, mejorar la calidad del aire y fomentar el desarrollo económico local.

Sin embargo, es esencial que se implementen políticas gubernamentales sólidas, se desarrolle la infraestructura vial y de recarga necesaria y se promueva la adopción de estas tecnologías entre los consumidores y las empresas para diversos segmentos de vehículos, no solo los de carga e inclusive el transporte público.

En alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la transición incide directamente en el Objetivo 13 - Acción por el Clima (13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales), además de relacionarse con: Objetivo 7 – Energía asequible y no contaminante (7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; 7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas; 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética; 7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias; 7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo) y Objetivo 9 – Industria, innovación e infraestructura (9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y

transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos; 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas).

Al aprender de la experiencia de California y adaptar sus mejores prácticas, Baja California podrá acelerar su transición hacia la movilidad cero emisiones con un modelo que resulte viable y adecuado a su realidad.

La concurrencia de actores de diversa índole ante esta situación con el transporte de carga motiva primordialmente a las empresas afectadas, sea directamente a los del gremio del transporte y sus clientes exportadores de bienes industriales y agrícolas primordialmente.

El Gobierno del Estado asume su rol buscando en primera instancia con disponer de un diagnóstico de la situación, la valoración de alternativas y el trabajo mano a mano con el sector de autotransporte, razón por la que este reporte ha sido elaborado.

En colaboración con:

1. Introducción

En la actualidad, el sector transporte por carretera es uno de los principales generadores de contaminación ambiental en el mundo; un 12.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) totales provienen de él y presenta una tendencia al alza año tras año[2].

Además, la creciente preocupación por la calidad del aire y sus efectos en la salud humana obliga a replantear las prácticas en el sector del transporte, especialmente en el ámbito del transporte de carga, que desempeña un papel significativo en la generación de emisiones contaminantes.

La movilidad cero emisiones, la cual se basa en el uso de vehículos que no generan gases contaminantes, al reemplazar los motores de combustión interna por motores eléctricos y/o de celdas de combustible de hidrógeno, se presenta como una solución prometedora para abordar estos desafíos de manera efectiva.

Al adoptar vehículos cero emisiones en el sector del transporte de carga, se podrá lograr una transformación significativa y necesaria en la forma en que se envían mercancías y bienes en todo el mundo con un impacto directo en la huella de carbono de dichas cadenas de suministro como parte de la transición a un desarrollo más sostenible.

La transición hacia la movilidad cero emisiones es importante por varias razones[3,4]:

1. Reducción de GEI: Los vehículos eléctricos no emiten gases de escape directamente, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de GEI, como el dióxido de carbono (CO₂). Esto es especialmente relevante en el contexto del cambio climático, al ser el sector del transporte uno de los principales emisores de CO₂ a nivel mundial.
2. Mejora de la calidad del aire: Los vehículos de combustión interna emiten contaminantes atmosféricos, como óxidos de nitrógeno y partículas finas, que tienen un impacto negativo en la calidad del aire y la salud humana. La adopción de vehículos cero emisiones ayuda a reducir estos contaminantes, mejorando la calidad del aire y disminuyendo los problemas de salud asociados, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
3. Diversificación de la matriz energética: La movilidad cero emisiones permite una mayor diversificación de la matriz energética, ya que los vehículos eléctricos pueden ser alimentados por diferentes fuentes de energía, de especial interés energías renovables. En este contexto, el hidrógeno emerge como una tecnología prometedora.

Los vehículos eléctricos de celda de combustible de hidrógeno ofrecen una alternativa adicional, utilizando hidrógeno producido a partir de fuentes renovables para generar electricidad a bordo y propulsar el vehículo. Esta tecnología complementa a los vehículos eléctricos tradicionales y contribuye a una mayor flexibilidad y resiliencia del sistema energético.
4. Eficiencia energética: Los vehículos eléctricos son más eficientes en términos energéticos que los vehículos de combustión interna. La electricidad utilizada para cargar los vehículos eléctricos puede aprovecharse de manera más eficiente que la energía contenida en los combustibles fósiles. Esto conduce a un uso más adecuado de los recursos energéticos y a una reducción de la demanda energética global.

En colaboración con:

5. Innovación tecnológica y desarrollo económico: La transición hacia la movilidad cero emisiones impulsa la innovación tecnológica en áreas como la producción de baterías, la infraestructura de recarga y la gestión inteligente de la energía.

Esto puede generar oportunidades económicas, promover la creación de empleo en sectores relacionados y estimular el crecimiento de la industria de vehículos eléctricos.

Asimismo, el desarrollo de la tecnología del hidrógeno y la infraestructura necesaria para su producción y distribución puede abrir nuevas oportunidades de mercado y fomentar la colaboración entre diferentes sectores industriales.

La movilidad cero emisiones, a pesar de sus beneficios y avances significativos, también enfrenta varios desafíos en la actualidad [5].

Algunos de los principales retos son la autonomía y el tiempo de recarga, poca disponibilidad de infraestructura de recarga, el costo de adquisición y la disponibilidad de modelos, la gestión de la demanda y la estabilidad de la red eléctrica, la extracción y producción de materias primas, la conciencia de los usuarios y la educación de estos y de los técnicos para su mantenimiento.

La autonomía de las baterías de los vehículos eléctricos aún es limitada en comparación con los vehículos de combustión interna, lo que requiere mejoras en la capacidad de las baterías y la extensión de la autonomía. Los tiempos de carga más largos en comparación con el llenado de combustible son un obstáculo para la adopción masiva.

La falta de infraestructura pública de carga es un desafío importante, y se requiere una red amplia, accesible y eficiente de estaciones de recarga para fomentar la adopción a mayor escala de vehículos eléctricos.

El costo de adquisición de vehículos eléctricos sigue siendo más alto en comparación con los vehículos de combustión interna, y la disponibilidad de modelos y opciones es limitada, especialmente en el transporte de carga pesada.

En este sentido, los vehículos eléctricos de celda de combustible de hidrógeno pueden ofrecer mayores autonomías y tiempos de reabastecimiento comparables a los de los vehículos de combustión interna, contribuyendo a superar algunas de estas barreras.

La adopción masiva de vehículos eléctricos plantea desafíos en la gestión de la demanda eléctrica y la estabilidad de la red, siendo necesaria una gestión eficiente y la aplicación de tecnologías inteligentes.

La extracción y producción de materias primas para las baterías tiene implicaciones en términos de sostenibilidad y responsabilidad social, y se deben abordar para promover la minería responsable y el reciclaje de baterías.

De igual manera, la producción de hidrógeno limpio, derivado de fuentes renovables, debe considerarse para asegurar que su implementación sea sostenible y beneficiosa para el medio ambiente.

Abordar estos desafíos requerirá inversión en investigación y desarrollo, políticas adecuadas, colaboración entre sectores y avances tecnológicos continuos en la escala global. A medida que se superen estos retos, la movilidad cero emisiones tiene el potencial de construir un futuro más sostenible y limpio en el sector del transporte.

El estado de California, Estados Unidos, recientemente ha establecido regulaciones ambiciosas para transitar hacia un sector transporte cero emisiones, y con ello reducir sus emisiones contaminantes.

Este contexto regulatorio impactará directamente a Baja California, ya que ambos estados comparten dinámicas transfronterizas comerciales, sociales y turísticas que obligarán a emprender acciones que permitan a las empresas afectadas cumplir con los lineamientos de California, preservando y mejorando las condiciones binacionales de este sector.



2. Características del transporte de carga en Baja California

La región de Baja California se posiciona como un enclave logístico para México, siendo un nodo estratégico para el flujo de carga tanto a nivel nacional como transfronterizo con Estados Unidos. En este contexto, se ofrece una visión del panorama actual basada en los datos proporcionados por los distintos organismos tanto nacionales como internacionales.

La ubicación geográfica estratégica de Baja California a nivel nacional potencia su papel como punto de entrada y salida vital para el comercio tanto interno como externo.

Este reporte también aborda los patrones de los flujos locales e interiores del país, arrojando luz sobre la interconexión de Baja California con otras regiones de México y donde se evalúan las complejidades de las regulaciones transfronterizas, las políticas de emisiones y las limitaciones de peso neto que delinean el marco operativo del transporte de carga en la región.

Este análisis se apoya en datos cuantitativos respaldados por informes de la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga [6], Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) [7] y reportes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [8], proporcionando una visión del contexto del transporte de carga en Baja California.

Este enfoque permite comprender los desafíos y oportunidades que enfrenta esta industria en la región, sentando así una base para futuras investigaciones y la toma de decisiones estratégicas informadas.

El transporte de carga en Baja California está regulado tanto a nivel estatal como nacional, con normativas específicas que abordan aspectos transfronterizos, emisiones y limitaciones de peso neto. A continuación, se presenta un análisis de estas regulaciones.

El flujo de mercancías a través de la frontera México-Estados Unidos es esencial para la economía de Baja California. Las regulaciones transfronterizas se han vuelto más complejas con la implementación del T-MEC en 2020.

Según datos del Office of The United States Trade Representative, en 2019, Baja California exportó \$30.2 mil millones de dólares en bienes a Estados Unidos, siendo los principales productos vehículos automotores, dispositivos médicos y productos electrónicos.

Estos intercambios comerciales están sujetos a aranceles, cuotas y requisitos de documentación específicos, que varían según el tipo de mercancía (Tabla 1).

Tabla 1. Principales Exportaciones de Baja California a Estados Unidos en 2019

Producto	Valor (en millones de dólares)
Vehículos Automotores	\$8,450
Dispositivos Médicos	\$3,210
Equipos Electrónicos	\$2,960
Maquinaria	\$2,410
Manufacturas de Metal	\$2,200

Fuente: Office of The United States Trade Representative (2020).

2.1 Caracterización general de la demanda de transporte de carga

El transporte de carga en Baja California facilita la conectividad de mercados locales, internacionales e interiores del país. Un análisis de la demanda de transporte de carga revela detalles sobre los tipos de carga, su volumen y los actores involucrados.

2.1.1 Tipo de Carga y Volumen

Baja California se distingue por la diversidad de cargas transportadas, desde productos electrónicos hasta materias primas. De acuerdo con datos de la SICT de 2020, los principales tipos de carga incluyen productos electrónicos, maquinaria industrial y productos alimenticios.

Además, de acuerdo con el INEGI, el volumen de carga movilizada ha experimentado un crecimiento constante, alcanzando su punto máximo en 2019 con un aumento del 7.2% respecto al año anterior [8]. La Tabla 2 hace referencia a la información previa.

2.1.2 Flujos locales, internacionales e interiores del país

La ubicación fronteriza de Baja California la convierte en una entidad fundamental para el transporte de carga internacional. Los cruces fronterizos de Otay Mesa, Calexico East y Tecate son nodos cruciales en estos flujos [7].

Además de los flujos internacionales, los traslados de carga dentro de la región y hacia otras partes de México son igualmente significativos. Estos flujos están estrechamente ligados a la demanda local, alimentada por los sectores manufactureros y agrícolas.

La Tabla 3 muestra los detalles de los flujos de transporte de carga en Baja California durante el año 2020, incluyendo los movimientos

locales, internacionales e interiores del país, junto con las principales rutas y destinos asociados.

Tabla 2. Tipos de carga y volumen transportado en Baja California (Año 2020)

Tipo de Carga	Volumen (Ton)	Principales Productos
Productos Electrónicos	500,000	Dispositivos electrónicos, componentes eléctricos
Maquinaria Industrial	350,000	Maquinaria pesada, equipos de fábrica
Productos Alimenticios	200,000	Alimentos procesados, productos frescos
Materias Primas	150,000	Metales, plásticos, materiales básicos

Nota: Los datos presentados son estimaciones anuales basadas en informes de la SICT y estudios del INEGI del año 2020. Los volúmenes pueden variar según la demanda del mercado y las fluctuaciones económicas.

2.1.3 Principales clientes y usuarios

Las empresas pertenecientes a los sectores manufactureros y comerciales son los principales clientes y usuarios del transporte de carga en Baja California. En la Tabla 4, se muestra la concentración de zonas industriales en ciudades como Tijuana y Mexicali que ha generado una alta demanda de servicios logísticos y de transporte.

Además, el auge del comercio electrónico ha impulsado la necesidad de entregas rápidas y seguras, colocando a las empresas de logística y transporte en una posición estratégica.

Tabla 3. Flujos de transporte de carga en Baja California (Año 2020)

Tipo de Flujo	Descripción	Principales Rutas y Destinos
Flujos Locales	Transporte dentro de Baja California, cubriendo ciudades como Tijuana, Mexicali, y Ensenada.	Carreteras locales y autopistas conectando centros urbanos.
Flujos Internacionales	Transporte de carga entre Baja California y estados fronterizos de Estados Unidos, como California y Arizona.	Autopistas transfronterizas como la I-5 y la Carretera 2.
Flujos Interiores del País	Transporte de carga desde Baja California hacia otras regiones de México, como el centro y el sur del país.	Autopistas y carreteras principales, incluyendo la Carretera Federal 1.

Nota: Los flujos de transporte de carga locales, internacionales e interiores del país se basan en datos de la SICT. Estas rutas son vitales para el comercio y la economía tanto de Baja California como de las regiones vecinas. Las carreteras y autopistas mencionadas son las principales arterias de transporte que facilitan estos flujos.

Tabla 4. Características de la demanda de transporte de carga en Baja California (Datos de 2020)

Tipo de Carga	Volumen Anual (Toneladas)	Principales Rutas de Transporte
Manufacturas	50,000	Tijuana - Ciudad de México, Tijuana - Los Ángeles
Alimentos	30,000	Mexicali - Los Ángeles, Tijuana - Ensenada
Electrónicos	20,000	Tecate - San Diego, Tijuana - Ciudad de México
Productos Químicos	25,000	Tijuana - Guadalajara, Mexicali - Hermosillo
Materiales de Construcción	40,000	Mexicali - Hermosillo, Tijuana - Ensenada

Nota: Los datos fueron recabados por entrevistas y fuentes federales que corresponden al año 2020.

2.1.4 Cruces fronterizos de vehículos de carga en Baja California

Los aforos anuales de camiones de carga representan una ventana hacia la dinámica comercial en los estados fronterizos de México.

Estos datos revelan el flujo constante de mercancías a través de puntos estratégicos de entrada y salida en la frontera norte del país.

Los camiones, cargados con productos de diversos sectores industriales, cruzan estas rutas fronterizas, contribuyendo

significativamente al comercio internacional de México. Estos aforos muestran la vitalidad económica y la interconexión de las regiones fronterizas, proporcionando información clave para la toma de decisiones logísticas y estratégicas.

A través de estas cifras, se pueden trazar flujos de transporte de carga, pintando un cuadro completo de la red comercial que une México con sus socios comerciales internacionales.

Al analizar los datos, se vuelve evidente que Baja California actúa como un puente esencial, facilitando un flujo constante de mercancías que abarcan desde manufacturas hasta alimentos y productos electrónicos. Los aforos anuales de camiones subrayan la importancia de Baja California como un motor económico que impulsa no solo el desarrollo local, sino también la conectividad internacional en el contexto del comercio globalizado del siglo XXI.

Los números indican la intensidad del movimiento en los cruces fronterizos de Baja California, siendo Tijuana el puerto con mayor aforo anual desde 2017 hasta el tercer trimestre de 2023, seguido de Mexicali y posteriormente de Tecate (Figura 1).

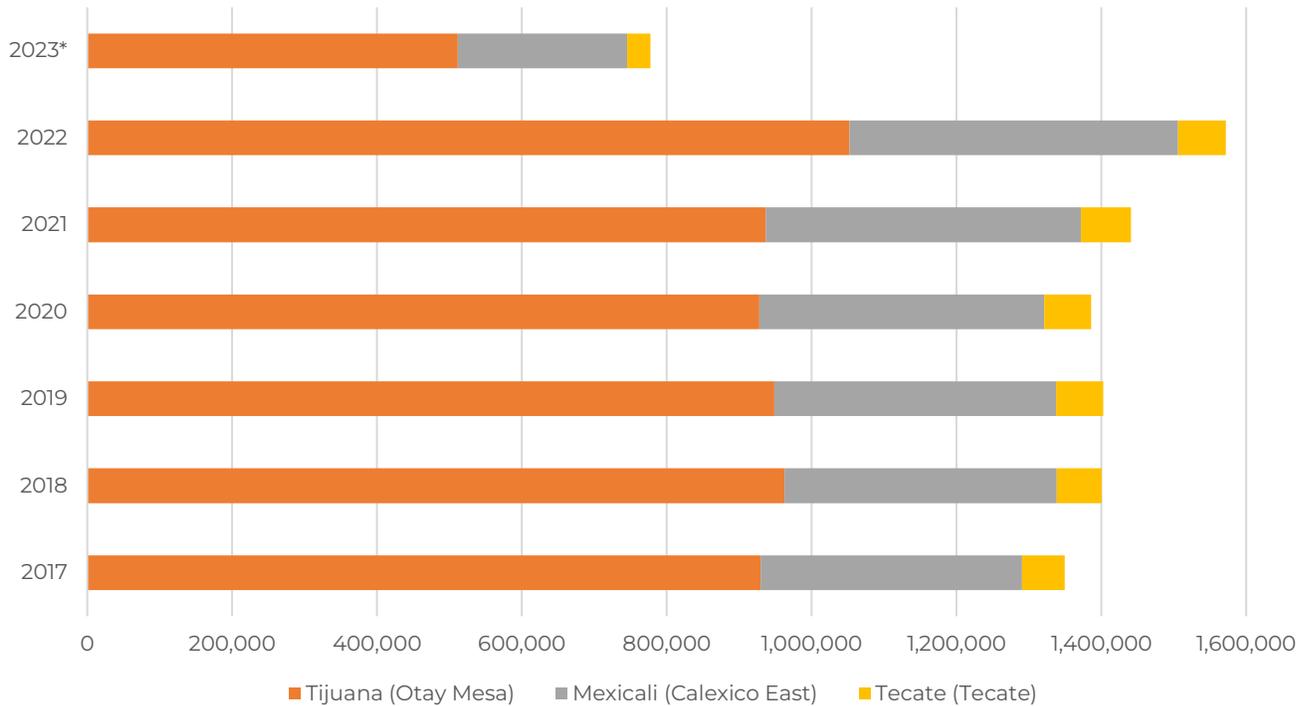
2.2 Estructura de la oferta de transporte de carga en Baja California

En este segmento, se presenta la estructura de la oferta de transporte de carga en Baja California. Se presentará la información y análisis para lograr una comprensión integral del entorno logístico regional.

Los datos se sustentan en fuentes como SICT de México, el Departamento de Transporte de Estados Unidos y estudios académicos realizados por expertos en logística y transporte internacional.

En colaboración con:

Figura 1. Cruces fronterizos de vehículos de carga en Baja California.



Fuente: Elaboración propia con información de Boletín Mensual Agosto, Subdirección General de Autotransporte Federal (2023). * Datos a julio del 2023.

2.2.1 Estimación de la flota y categoría de unidad

De acuerdo con datos de la SICT para el año 2022, Baja California contaba con una flota total de 15,216 unidades motrices de autotransporte de carga.

Esta flota se distribuye en diversas clases, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 5. Se puede apreciar una gran mayoría de unidades de la clase T-3, con un 81% del total de unidades registradas ante la SICT, las cuales corresponden a tractocamiones de 3 ejes, seguido por un 12% de camiones unitarios C-2 (2 ejes).

2.2.2 Proveeduría vs flotas propias

De acuerdo con la SICT [7], en Baja California el 65% de la flota total pertenece a empresas que gestionan sus propias flotas internamente, mientras que el 35% se contrata a través de proveedores de servicios de transporte. Esta diversidad en la propiedad de los vehículos refleja la dinámica empresarial en la región, donde tanto grandes corporaciones como pequeñas y medianas empresas participan activamente en el sector logístico.

Tabla 5: Distribución de la flota de unidades motrices de autotransporte de carga en Baja

Clase	Número de unidades	Porcentaje del Total
C-2	1,868	12%
C-3	704	5%
T-2	145	1%
T-3	12,372	81%
Otros	127	1%
Total	15,216	100%

2.2.3 Registro de vehículos en modalidad *transfer*

Según datos de la SICT [7], a finales del 2023 existían un total de 55,738 vehículos de carga en México registrados en la modalidad *transfer*, que son aquellos camiones y tractocamiones que operan en las fronteras de México (servicio transfronterizo).

El 92.7% de dichos vehículos corresponden a tractocamiones de tres ejes (T-3). En la Figura 2 se presenta el porcentaje del tipo de empresas propietarias de las unidades *transfer*.

Las empresas tipo Hombre-Camión tienen entre 1 y 5 unidades *transfer*, las empresas pequeñas entre 6 y 30, las medianas entre 31 y 100 y las grandes más de 100 unidades.

El 76% de las empresas con este permiso son del tipo Hombre-Camión, las cuales tienen bajo su control el 20.7% de las unidades *transfer* de todo el país.

Las empresas pequeñas cuentan con el 32.3% de las unidades *transfer* registradas, las medianas el 23.6% y las grandes el 23.4%.

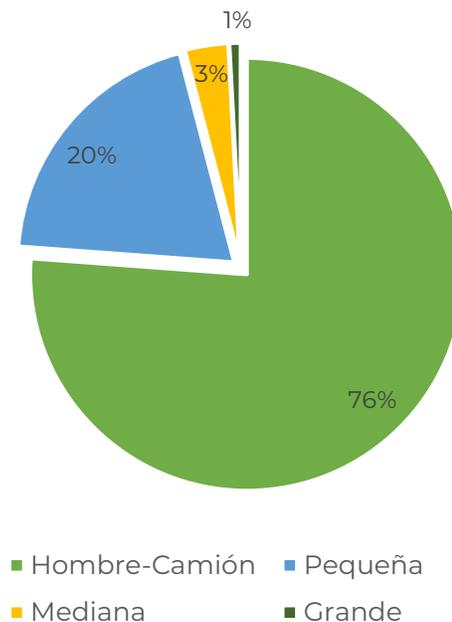
En Baja California, a finales del 2022, existían un total de 13,669 vehículos de carga *transfer*, siendo un 86% tractocamiones T-3.

Baja California es el segundo estado con mayor número de vehículos de carga *transfer*, solo por debajo de Tamaulipas que contaba a finales del 2022 con un total de 25,305 unidades registradas para realizar transporte de carga transfronterizo.

Este análisis de la estructura de la oferta de transporte de carga en Baja California proporciona una comprensión profunda de la diversidad y complejidad del sector logístico en la región.

Estos datos son fundamentales para los actores gubernamentales, las empresas y los académicos que buscan entender y mejorar las operaciones de transporte de carga en este importante punto fronterizo.

Figura 2. Tipo de empresas transportistas y su porcentaje con unidades *transfer* registradas en México.



2.3 Condiciones ambientales y de infraestructura del transporte de carga en Baja California

En el contexto por el cambio climático, las regulaciones de emisiones se han vuelto más estrictas para reducir el impacto ambiental del transporte de carga.

En Baja California, se han implementado estándares de emisiones para vehículos de carga, lo que ha llevado a una disminución significativa de las emisiones de gases contaminantes.

Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provenientes del transporte de carga se redujeron en un 15% entre 2015 y 2020, gracias a la adopción de tecnologías más limpias y prácticas logísticas más eficientes (Tabla 6).

Tabla 6. Reducción de Emisiones de CO₂ en el Transporte de Carga en Baja California (2015-2020)

Año	Emisiones de CO ₂ (en toneladas)
2015	5,200,000
2016	4,950,000
2017	4,800,000
2018	4,600,000
2019	4,400,000
2020	4,420,000

Fuente: INECC (2021).

Por otra parte, las limitaciones de peso neto son fundamentales para preservar la infraestructura vial e incrementar la seguridad en las vías de comunicación.

En Baja California, se han establecido límites de peso específicos para diferentes tipos de vehículos de carga. Estos límites varían según el número de ejes y el tipo de carga transportada. Según la Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado de Baja California (SIDURT), el incumplimiento de estas regulaciones puede resultar en multas significativas para las empresas de transporte, lo que ha llevado a un cumplimiento riguroso por parte de los transportistas (Tabla 7).

Tabla 7. Límites de Peso Neto para Vehículos de Carga en Baja California

Tipo de Vehículo	Límite de Peso Neto (en toneladas)
Tractocamiones	38
Camiones	30
Camionetas	15

Fuente: SIDURT (2021).

Conforme a los preceptos establecidos la Ley de Movilidad Sustentable y Transporte del Estado de Baja California, delineada en el Artículo 3, impone principios rectores que orientan la planificación, diseño, implementación y ejecución de políticas públicas en materia de movilidad, ya que se considera esta movilidad como la prestación de servicio público de transporte de personas, de transporte de carga y de distribución de bienes y mercancías.

Principios Rectores que pueden fomentar la movilidad cero emisiones:

- 1. Desarrollo Económico:** La normativa busca minimizar costos y tiempos de traslado de personas y bienes, contribuyendo al bienestar social y al desarrollo del Estado.
- 2. Eficiencia:** Se fomenta la oferta multimodal de servicios, la administración de flujos de

personas y bienes, así como el uso de infraestructura y tecnologías sustentables.

3. Innovación Tecnológica: Impulsar sistemas tecnológicos que efficienten la movilidad y el desplazamiento de personas y bienes.

4. Participación Ciudadana: Tomar en cuenta la opinión de los ciudadanos en los diferentes componentes de la movilidad.

5. Respeto al Medio Ambiente: Fomentar el cambio hacia tecnologías sustentables y masivas, reduciendo emisiones contaminantes y promoviendo un transporte respetuoso con el entorno.

6. Sustentabilidad: Dirigir las acciones al respeto y atención prioritaria del derecho a la movilidad, considerando su impacto en el desarrollo social, económico y ambiental, preservando dicho derecho para las generaciones futuras.

La Ley de Movilidad Sustentable y Transporte en Baja California establece un marco integral que aborda no solo las necesidades prácticas del transporte de carga, sino también cuestiones fundamentales como la equidad, la sostenibilidad y la seguridad.

La implementación efectiva de estos principios rectores proporciona una base sólida para la formulación de políticas específicas que promuevan un transporte de carga más eficiente, accesible y respetuoso con el entorno.



3. Integración económica y logística en la región CALIBAJA

En la región situada entre Estados Unidos y México, las flotillas de unidades de Baja California cruzan la frontera diariamente, generando un fenómeno de intercambio económico significativo.

Estas flotillas, conformadas por una variedad de clases y tipos de unidades, representan una red compleja de movilidad que conecta a las comunidades de ambos lados de la frontera.

La región CALIBAJA, que comprende el sur de California y Baja California, es un ejemplo destacado de integración binacional y competencia a nivel global.

La región CALIBAJA se beneficia de un *"triángulo de oportunidad"* donde se facilita la sinergia en sectores como el turismo médico, la industria aeroespacial, electrónica y de instrumentos médicos. Esta sinergia permite la integración de la región y la hace competitiva a nivel global.

En cuanto al transporte de carga transfronterizo, la región CALIBAJA es un ejemplo de cómo se pueden superar los desafíos logísticos y aduaneros para facilitar el comercio. La región ha implementado varias iniciativas para mejorar la eficiencia del transporte de carga y reducir los tiempos de espera en los cruces fronterizos.

Estas iniciativas incluyen la cooperación intergubernamental para la construcción de puentes internacionales y la asociación público-privada para facilitar los cruces fronterizos en el aeropuerto de Tijuana.

En términos de propiedad, estas unidades son operadas por diversas entidades, desde empresas privadas hasta organismos gubernamentales, creando una red diversa de

actores involucrados en este flujo constante de transporte. Estas unidades transportan una amplia gama de cargas, desde productos manufacturados hasta productos agrícolas, lo que demuestra la diversidad de las industrias involucradas en este intercambio transfronterizo.

Estas flotillas tienen como destino distintos puntos estratégicos en Estados Unidos, en ciudades como San Ysidro en California destacándose como destinos clave.

El flujo continuo a través de la frontera no solo impulsa el comercio bilateral, sino que también contribuye significativamente a la economía de ambas entidades.

Este entramado de flotillas de unidades de Baja California que cruzan a Estados Unidos subraya la importancia de la cooperación y coordinación entre los sectores público y privado en ambas naciones. La colaboración efectiva en la gestión y regulación de este tráfico fronterizo es esencial para garantizar un intercambio económico fluido y beneficioso para ambas partes.

De acuerdo con el informe estadístico de CANACAR [6] sobre el intercambio comercial entre México y Estados Unidos mediante mercancías transportadas vía terrestre, la colaboración económica entre los dos países se ha robustecido en los últimos años.

Esta conexión económica se traduce en flujos constantes de mercancías que alimentan el crecimiento económico de ambas regiones y resalta la necesidad de mantener una colaboración continua para asegurar un intercambio comercial eficiente y beneficioso para todas las partes involucradas (Tabla 8).

En colaboración con:

Tabla 8. Número de cruces transfronterizos del autotransporte de carga entre Baja California y Estados Unidos (2020-2022)

Aduana	2020	2021	2022*
Mexicali, B.C.	438,031	482,036	247,922
Tijuana, B.C.	1,167,028	1,292,049	632,904
Tecate, B.C.	55,733	60,734	30,579
Total	1,660,792	1,835,819	911,405

Fuente: Datos extraídos del informe estadístico de CANACAR sobre el intercambio comercial México-Estados Unidos vía terrestre. *2022 solo se presenta información hasta julio del mismo año.

Aunque los números de cruces transfronterizos en Tecate y Tijuana son significativamente menores en comparación con los cruces de otros estados, por ejemplo, Nuevo Laredo y Tamaulipas, es importante destacar las transacciones en Baja California siguen siendo una parte vital del flujo de carga entre México y Estados Unidos.

Esto demuestra la consistencia y confiabilidad del estado en el movimiento de mercancías, lo que es esencial para mantener las cadenas de suministro eficientes y el comercio bilateral constante entre ambos países.

3.1 Importaciones y Exportaciones en Baja California por medio de autotransporte

En el contexto del transporte de carga en Baja California, la información proporcionada por la CANACAR en su informe de Agenda

Económica del Autotransporte de Carga [6] se presenta como un recurso para comprender los movimientos de importaciones y exportaciones que caracterizan la economía de la región. Baja California, estratégicamente ubicada en la frontera entre México y Estados Unidos, desempeña un papel relevante en el intercambio comercial entre ambos países.

La naturaleza dinámica de las importaciones y exportaciones refleja la demanda local y nacional, así como las complejas interacciones entre los flujos internacionales de bienes y las necesidades logísticas de la región.

En el análisis de las importaciones (Figura 3) y exportaciones (Figura 4) por modo de transporte, CANACAR proporciona datos sobre los volúmenes financieros que caracterizan estos intercambios.

Los millones de dólares movilizados a través de los modos aéreo, marítimo, terrestre y otros revelan no solo el valor económico de estos movimientos, sino también las tendencias comerciales emergentes y las áreas de enfoque estratégico para los sectores empresariales.

En el caso de las exportaciones, se observa que la mayoría de las mercancías se transportan por carretera, lo que indica una fuerte dependencia del transporte por carretera, esto representa un 62.2% en el uso de modus de exportación.

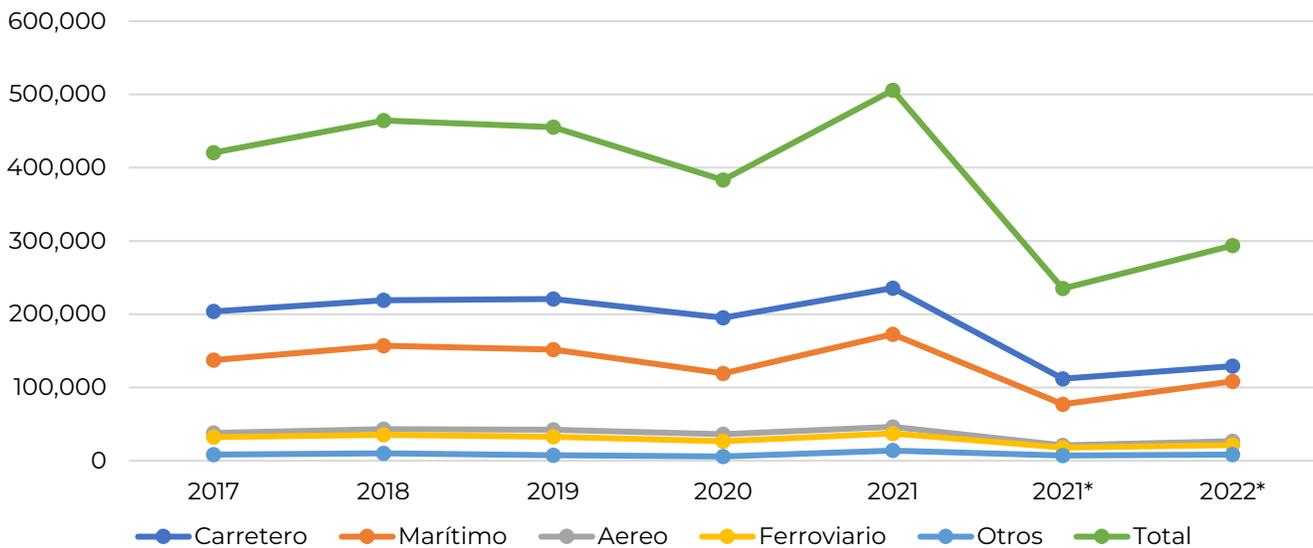
El transporte marítimo también juega un papel significativo con el 19.8%, mostrando la importancia de los puertos en la región.

Los modos ferroviario y aéreo representan el 12.5% y el 4.6% respectivamente, mientras que otros modos de transporte tienen una participación menor al 1%.

Por otro lado, en las importaciones, nuevamente el transporte por carretera es el dominante con un 47.7%. El transporte marítimo sigue siendo relevante con un 33.5%, mostrando la importancia de los puertos de entrada.

En colaboración con:

Figura 3. Importación de mercancías según modo de transporte (millones de dólares). 2021*-2022* acumulado enero-junio. Fuente: Agenda Económica del Autotransporte de Carga. CANACAR (2022)



El transporte ferroviario representa el 7.4%, el transporte aéreo el 9.2%, y otros modos tienen una participación menor al 3%.

Baja California contribuye con aproximadamente el 4% de las exportaciones totales de México y destaca por su crecimiento dinámico, especialmente en la industria maquiladora.

Su proximidad a San Diego y otros puntos de conexión en Estados Unidos hace que sus productos sean atractivos para el mercado estadounidense. Estos datos indican que la región cuenta con una importante infraestructura de transporte terrestre y una eficiente conexión con los mercados internacionales, demostrando una estrategia logística equilibrada y diversificada.

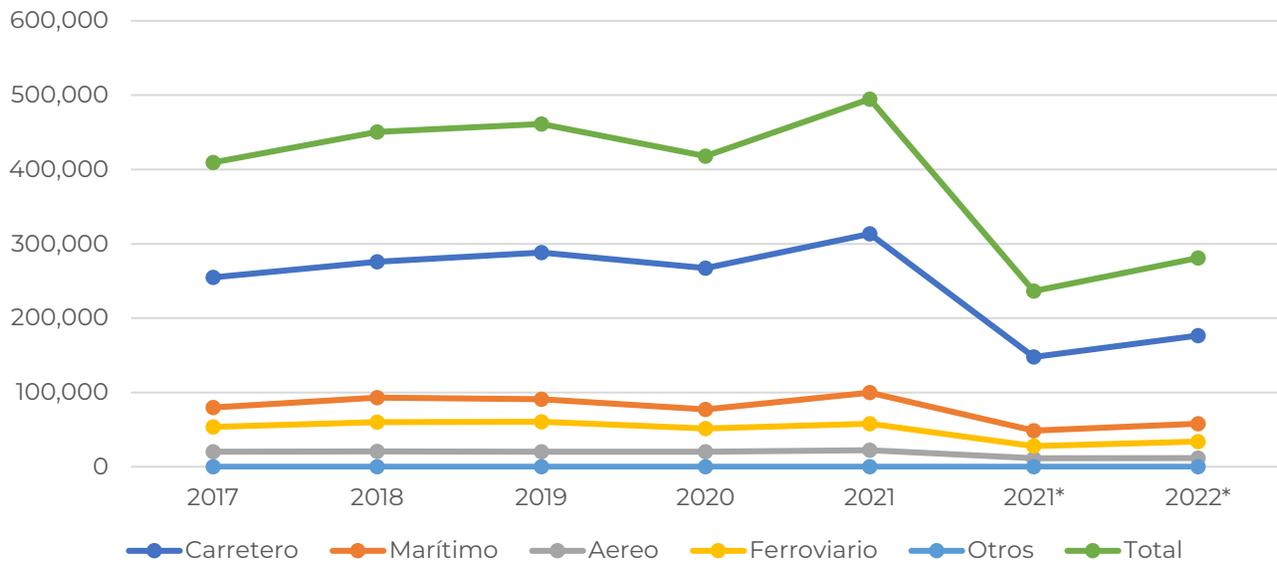
3.2 Caracterización de las flotillas de unidades de Baja California que cruzan a Estados Unidos

En términos de destinos, las unidades provenientes de Baja California tienen como destino principal Estados Unidos, aprovechando la ubicación fronteriza de la región para el comercio internacional.

Específicamente, los principales destinos son estados cercanos como California, Arizona y Texas. Esta estrategia logística es fundamental para el flujo continuo de mercancías entre México y Estados Unidos, dos economías interconectadas en una región clave para el comercio global.

En la Figura 5 se muestra el porcentaje de participación de los vehículos de carga y pasaje en los cruces fronterizos del año 2017 a junio de 2023, abarcando las regiones de Sonora, Baja California, Chihuahua compartiendo frontera con Nuevo México y Chihuahua, Nuevo Laredo y Tamaulipas compartiendo frontera con Texas.

Figura 4. Exportación de mercancías según modo de transporte (millones de dólares). 2021*-2022* acumulado enero-junio. Fuente: Agenda Económica del Autotransporte de Carga, CANACAR [6].



En cuanto a la red binacional de transporte terrestre, Baja California enfrenta significativas demandas en el ámbito nacional e internacional, especialmente debido a su frontera de 223 kilómetros con Estados Unidos.

Esta frontera alberga seis puertos fronterizos, y en el año 2019, antes del impacto de la pandemia, se registraron aproximadamente 55 millones de cruces en diversas modalidades en estos puertos fronterizos.

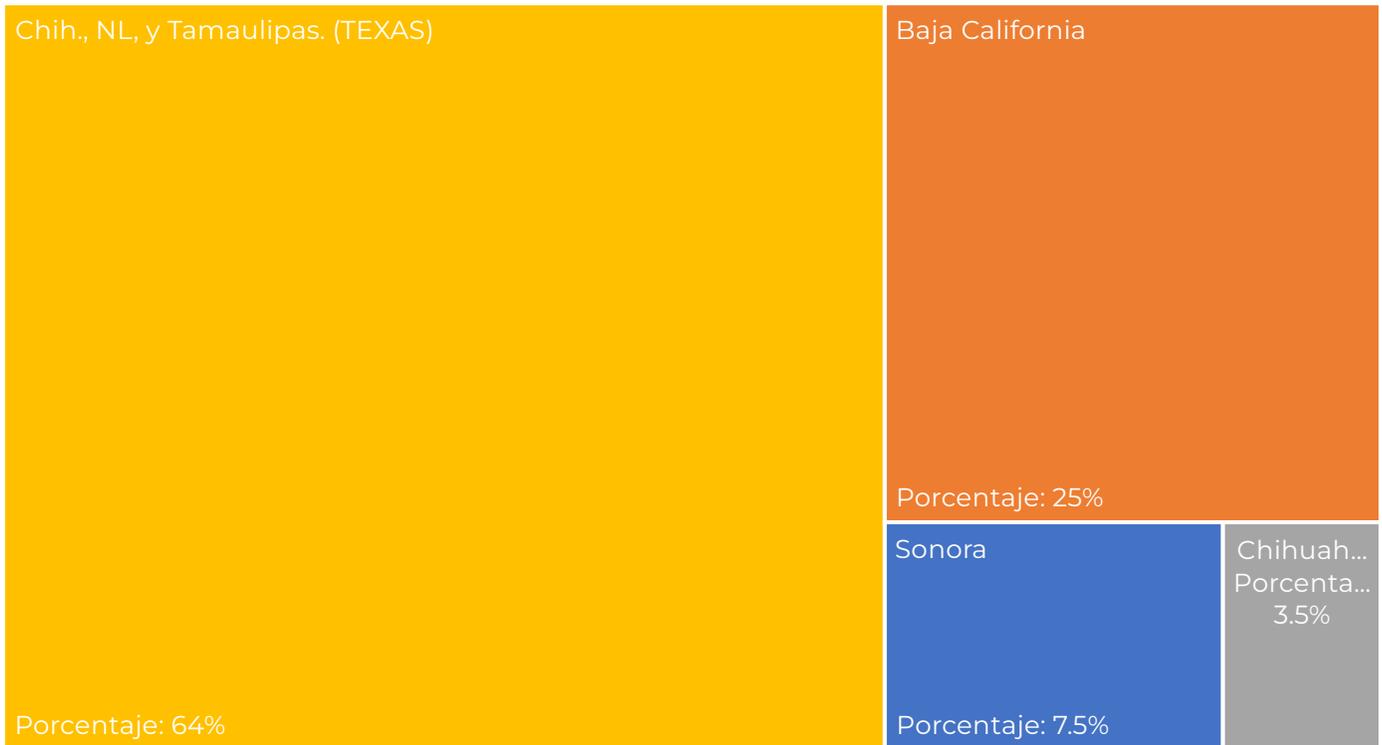
La pandemia de SARS-CoV-2 (COVID-19) impactó considerablemente los puertos fronterizos entre Estados Unidos y Baja California. En marzo de 2020, se cerraron para los viajes no esenciales, lo que resultó en una caída del 34.64% en la demanda durante 2020 en comparación con el año anterior. Sin embargo, en 2021, con la reapertura en noviembre de 2021, se experimentó un aumento del 11%.

La reapertura, vinculada a las políticas de teletrabajo emergentes por la pandemia, no ha logrado restablecer plenamente la capacidad de atención de los puertos fronterizos, resultando en largos tiempos de espera y filas de acceso sin precedentes.

Estas circunstancias han generado nuevos retos al sistema de movilidad local.

Figura 5. Comparación de la participación de los vehículos de carga y pasaje en los distintos cruces fronterizos. Los datos presentados reflejan la distribución de vehículos de carga y pasaje en los cruces fronterizos de Sonora, Baja California, Chihuahua (Nuevo México) y Chihuahua, Nuevo Laredo y Tamaulipas (Texas) del año 2017 a junio de 2023.

Fuente: Elaboración propia con información de Boletín Mensual Agosto, Subdirección General de Autotransporte Federal (2023).



4. Lineamientos para la transición a la movilidad cero emisiones del transporte de carga en el estado de California

California es un referente en la transición a la movilidad cero emisiones. El estado tiene una serie de políticas y programas que están ayudando a impulsar la adopción de vehículos cero emisiones (ZEV), incluyendo:

- Requisitos de cero emisiones para vehículos: California ha sido pionera en la adopción de ZEV, que no producen emisiones de gases de efecto invernadero ni smog. El estado requiere que los fabricantes de automóviles vendan un porcentaje creciente de ZEV cada año, y este requisito ha ayudado a impulsar el desarrollo y la disponibilidad de vehículos eléctricos.
- Incentivos para ZEV: California ofrece una serie de incentivos para los ZEV, incluyendo descuentos en la compra, exenciones de peaje y acceso a carriles exclusivos para vehículos de alta eficiencia. Estos incentivos están ayudando a hacer que los ZEV sean más asequibles y accesibles para los consumidores.
- Infraestructura de carga: California está invirtiendo en la infraestructura de carga para apoyar el crecimiento de la movilidad cero emisiones. El estado tiene más de 87,000 estaciones de carga públicas y privadas [9], y este número está creciendo rápidamente.

Como resultado de estas políticas y programas, California tiene la flota de vehículos eléctricos más grande de Estados Unidos. En 2022, había más de 1.1 millones de vehículos eléctricos en

las carreteras de California[10], y se espera que este número crezca rápidamente en los próximos años.

La transición a la movilidad cero emisiones en California está teniendo un impacto positivo en el medio ambiente. Los vehículos eléctricos producen cero emisiones de gases de efecto invernadero, lo que está ayudando a reducir la contaminación del aire y el cambio climático.

La transición a la movilidad cero emisiones también está teniendo un impacto positivo en la economía de California. La industria automotriz eléctrica está creando nuevos empleos y generando nuevas inversiones en el estado.

También está ayudando a reducir la dependencia de California de los combustibles fósiles, lo que pudiera estar ahorrando dinero a los consumidores y al estado. La transición a la movilidad cero emisiones es una tendencia importante en California y otras latitudes del mundo.

California es referente por ir a la delantera en el camino en esta transición, y sus políticas y programas que buscan a impulsar la adopción de vehículos cero emisiones.

La combinación de políticas agresivas, infraestructura de carga desarrollada, colaboración público-privada, inversión en investigación y desarrollo, y una mentalidad favorable hacia la sostenibilidad han posicionado a California como un referente en la movilidad cero emisiones.

4.1 Marco normativo y calendario de transición.

El 23 de septiembre del 2020 California decretó, por medio de la Orden Ejecutiva N-79-20 firmada por el Gobernador Gavin Newsom, ambiciosos objetivos estatales para transitar hacia un sector transporte de California libre de

emisiones buscando reducir la contaminación ambiental.

Este decreto llamó rápidamente la atención de otros estados de Estados Unidos y países de la Unión Europea, por lo que imitaron (con algunas diferencias) el modelo californiano para la descarbonización del sector transporte.

Para California no son algo nuevo las iniciativas para fomentar el uso de ZEV, el estado tiene una gran historia en cuanto a esfuerzos para transitar hacia un sector transporte más limpio, como se puede apreciar en la Figura 6.

En los últimos años se han establecido regulaciones para que la transición hacia el sector transporte cero emisiones pueda ser más pronto una realidad[11].

4.1.1 Advanced Clean Truck

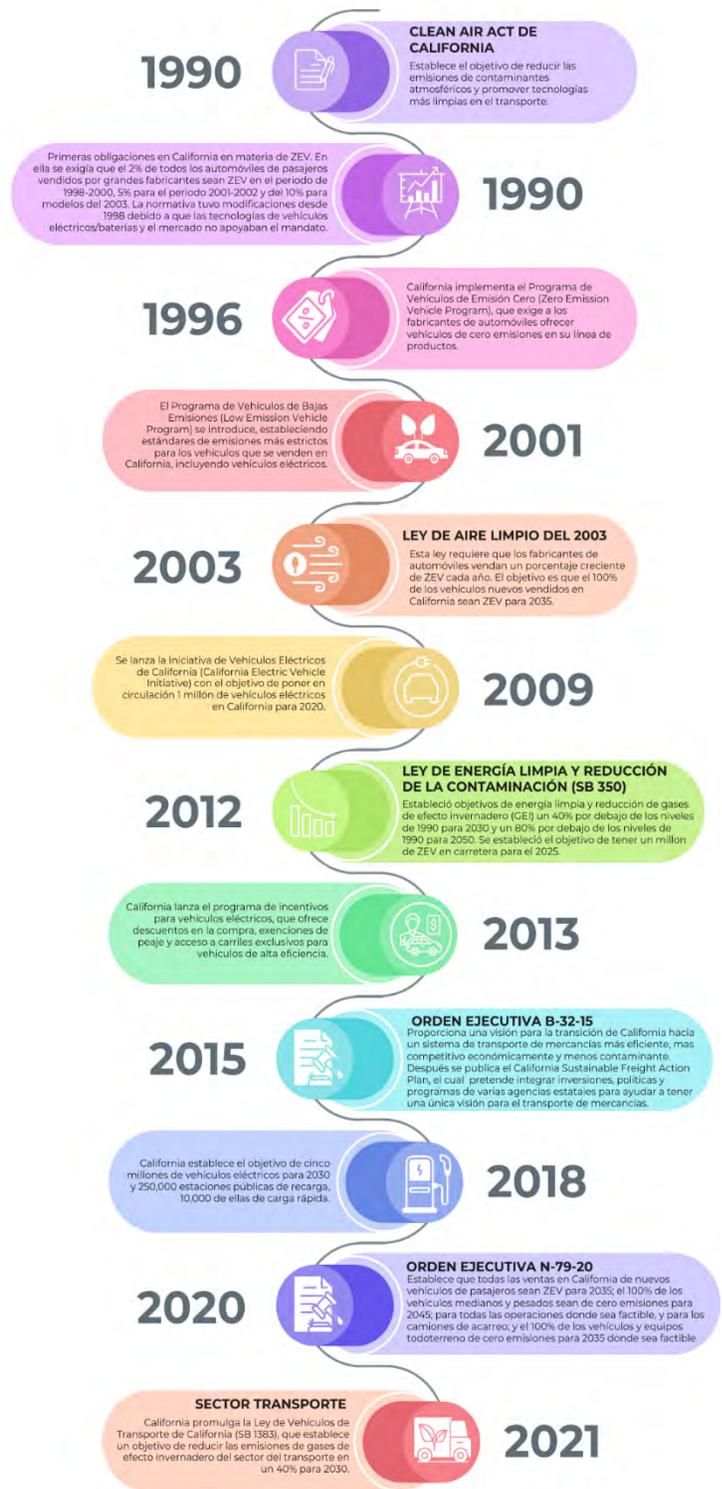
California aprobó en marzo del 2021 el *Advanced Clean Truck Act* (ACT) para combatir las emisiones contaminantes que provoca el sector transporte, que se enfoca en los camiones medianos y pesados de combustión interna.

El ACT establece que los fabricantes de vehículos medianos y pesados tienen que vender ZEV o de casi cero emisiones (*Near-zero-emissions vehicle*, NZEV), como los híbridos eléctricos conectables, como porcentaje creciente de sus ventas anuales de 2024 a 2035.

A la fecha, otros seis estados también han adoptado esta regulación, como lo son Maryland, Massachusetts, New Jersey, New York, Oregon y Washington. Se espera que más estados se sumen a esta iniciativa en los próximos meses[12].

Esta regulación establece que los fabricantes que certifiquen chasis de clase 2b-8 o vehículos completos con motor de combustión interna tendrán que vender para el 2035 un 55% de ZEV

Figura 6. Antecedentes regulatorios en materia de vehículos cero emisiones en California, Estados Unidos. Fuente: Elaboración propia.



En colaboración con:

de la clase 2b-3, un 75% de las ventas para la clase 4-8 y un 40% para las clases 7-8 específicamente tractores, con incrementos porcentuales establecidos año tras año, a partir del 2024.

La Figura 7 muestra el incremento porcentual de ventas anuales a los cuales están condicionados los fabricantes de vehículos, en función de tres categorías establecidas según la clase de camión.

Según la ACT, los ZEV son aquellos vehículos que producen cero emisiones en el tubo de escape, incluidos los vehículos eléctricos de batería y los de celdas de combustible de hidrógeno, mientras que los NZEV son los vehículos con un motor de combustión interna y un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, incluidos los vehículos híbridos enchufables y los vehículos con motor de combustión interna de hidrógeno.

Esta regulación utiliza un sistema *cap-and-trade*, limitando el número de vehículos que utilizan combustibles fósiles vendidos

mediante la estipulación de requisitos de porcentaje de ventas anuales.

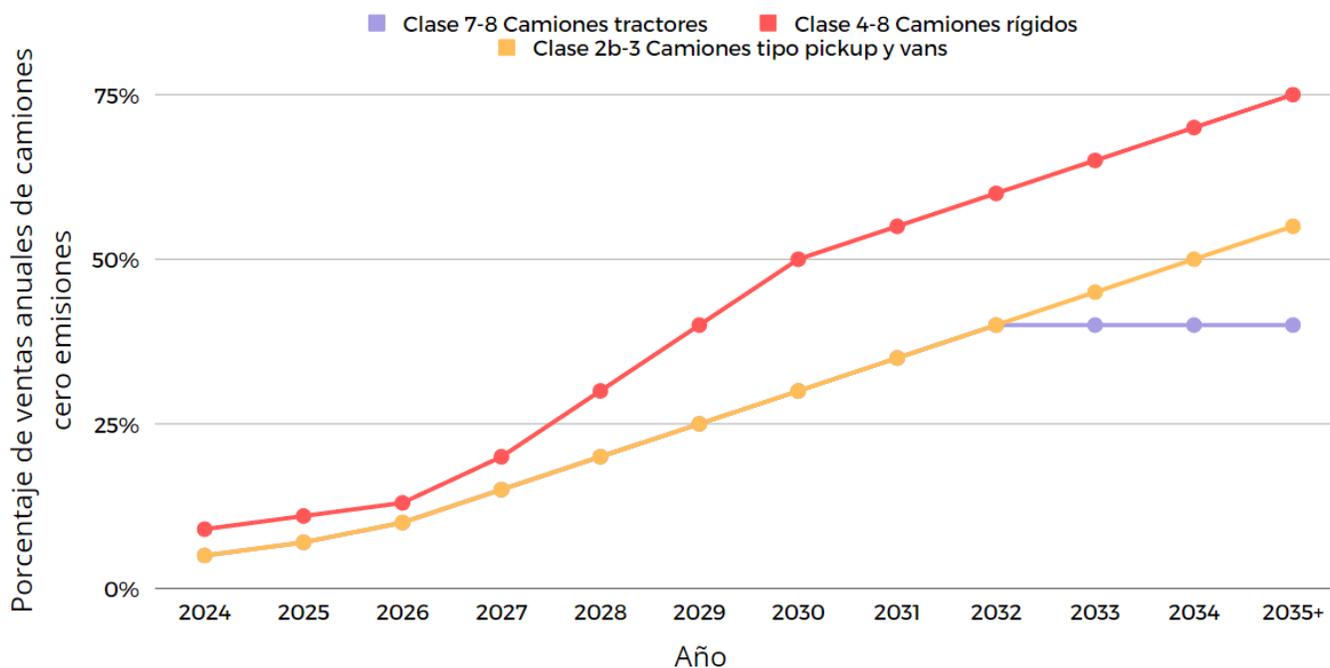
Así también, la ACT permite a los fabricantes cumplir con la normativa mediante la generación de créditos de cumplimiento a través de la venta de ZEV o NZEV, o mediante el comercio de créditos de cumplimiento.

Estos créditos se pueden obtener con ventas de ZEV y NZEV, o comprándolos a otros fabricantes para cumplir con los requerimientos del ACT.

Los créditos generados por la venta de NZEV tienen un valor de hasta el 75% de un crédito por la venta de un ZEV, y pueden ser utilizados para cubrir hasta la mitad del déficit de ventas de ZEV del fabricante.

Los créditos tienen un valor distinto en función de la clase del vehículo vendido y estos pueden ser conservados o usados hasta en 5 años, pudiéndose cubrir futuros déficits de ventas de ZEV.

Figura 7. Porcentaje de ventas de ZEV y NZEV requeridos por el ACT. Fuente: Elaboración propia con información de CARB.



Cabe señalar que solamente los fabricantes que vendan más de 500 vehículos al año están obligados a cumplir con el ACT, y deben de informar anualmente el número de vehículos que venden en California.

Los fabricantes que vendan menos de 500 camiones pesados están exentos y no están obligados a vender ZEV o NZEV, aunque lo pueden hacer de forma voluntaria.

4.1.2 *Advanced Clean Fleets*

El 28 de abril del 2023 se aprobó la *Advanced Clean Fleets* (ACF) en California, regulación que ayudará a acelerar la transición a gran escala de vehículos de medio peso y pesados a cero emisiones [13].

Esta regulación trabaja en conjunto con la ACT, la cual ayuda a asegurar que los ZEV estén disponibles en el mercado. La regulación ACF se aplica a las flotas que realizan operaciones de acarreo, que son propiedad de agencias estatales, locales y del gobierno federal, y a las flotas de alta prioridad.

Las flotas de alta prioridad son aquellas entidades que poseen, operan o dirigen al menos un vehículo en California, y que tienen o bien \$ 50 millones o más en ingresos brutos anuales, o que poseen, operan o tienen la propiedad común o el control de un total de 50 o más vehículos (excluidos los vehículos ligeros de reparto de paquetes).

La regulación afecta a los vehículos de carretera medianos y pesados con un peso bruto vehicular superior a 8,500 libras, a los tractores todoterreno y a los vehículos livianos de reparto de correo y paquetería.

La ACF tiene cuatro distintos componentes [13]:

- **Mandato de ventas para fabricantes:** Los fabricantes deberán vender solamente vehículos de medio peso y pesados a partir del 2036.

- **Flotas de acarreo (*daryage*):** Los camiones de acarreo son vehículos de carretera en uso que transportan contenedores y mercancías a granel hacia y desde puertos marítimos y terminales intermodales ferroviarias.

Los puertos de entrada terrestres, que permiten la entrada o salida controlada de Estados Unidos, no se consideran puertos marítimos o terminales intermodales ferroviarias

A partir del 1 de enero del 2024, los camiones deberán estar registrados en el sistema de CARB en línea para realizar actividades de acarreo en California. Los camiones de acarreo "heredados" que no sean de cero emisiones pueden registrarse en el sistema de CARB en línea hasta el 31 de diciembre del 2023.

Los camiones de acarreo heredados pueden continuar operando durante su vida útil mínima. A partir del 1 de enero del 2024, solo los camiones de acarreo de cero emisiones podrán registrarse en el sistema de CARB en línea.

Todos los camiones de acarreo que ingresen en los puertos marítimos y en las terminales ferroviarias intermodales deberán ser cero emisiones para el 2035.

En la Figura 8 se aprecia el calendario de transición para las flotas de acarreo según el ACF.

Figura 8. Calendario de transición para las flotas de acarreo que entran y salen de puertos marítimos y terminales intermodales ferroviarias de California, según las ACF. Fuente: Elaboración propia con información de CARB.



• **Flotas de alta prioridad o federales:**

Las flotas de alta prioridad y federales deben cumplir con el *Model Year Schedule* o pueden optar por utilizar la *ZEV Milestones Option* para incorporar gradualmente ZEV en sus flotas:

- **Model Year Schedule:** a partir del 2024 las empresas que tengan bajo su poder flotas de camiones deben comprar únicamente vehículos ZEV y, a partir del 1 de enero del 2025, deben retirar los vehículos con motor de combustión interna al final de su vida útil.
- **ZEV Milestones Option:** en lugar del Model Year Schedule, las flotas pueden optar por

cumplir con los objetivos ZEV como un porcentaje de la flota total, comenzando con los tipos de vehículos que son más adecuados para la electrificación.

El porcentaje de vehículos que deben de ser cero emisiones se presenta en la Tabla 9. Esta opción se divide en tres grupos con distinto año de inicio de cumplimiento en función del tipo de vehículo.

Los grupos 1, 2 y 3 inician con un 10% del total de ZEV de las flotas para los años 2025, 2027 y 2030, respectivamente, con incrementos porcentuales establecidos, finalizando con un

100% para los años 2035, 2039 y 2042 para los grupos 1, 2 y 3, respectivamente.

Cabe resaltar que aquellas organizaciones con ingresos superiores a los 50 millones de dólares anuales y no cuenten con flotillas de camiones para la distribución de sus productos y/o mercancías en California, y realicen la subcontratación del transporte de carga, no están exentas de la ACF y deben de comprobar que la organización subcontratada está en cumplimiento o no está obligada a cumplir con la ACF.

Esto es de suma importancia para las organizaciones en Baja California que son propietarias de flotillas que operan en California o subcontratan a organizaciones de transporte, ya que deberán de comprobar que están en cumplimiento con el ACF, independientemente de que no sea una organización registrada en California.

- **Agencias locales y estatales:** Las flotas de los gobiernos estatales y locales, incluidas las flotas de las ciudades, los condados, los distritos especiales y las agencias estatales, están obligadas a garantizar que el 50% de las compras de vehículos sean de cero emisiones a partir del 2024 y que el 100% de las compras de vehículos sean de cero emisiones para el 2027.

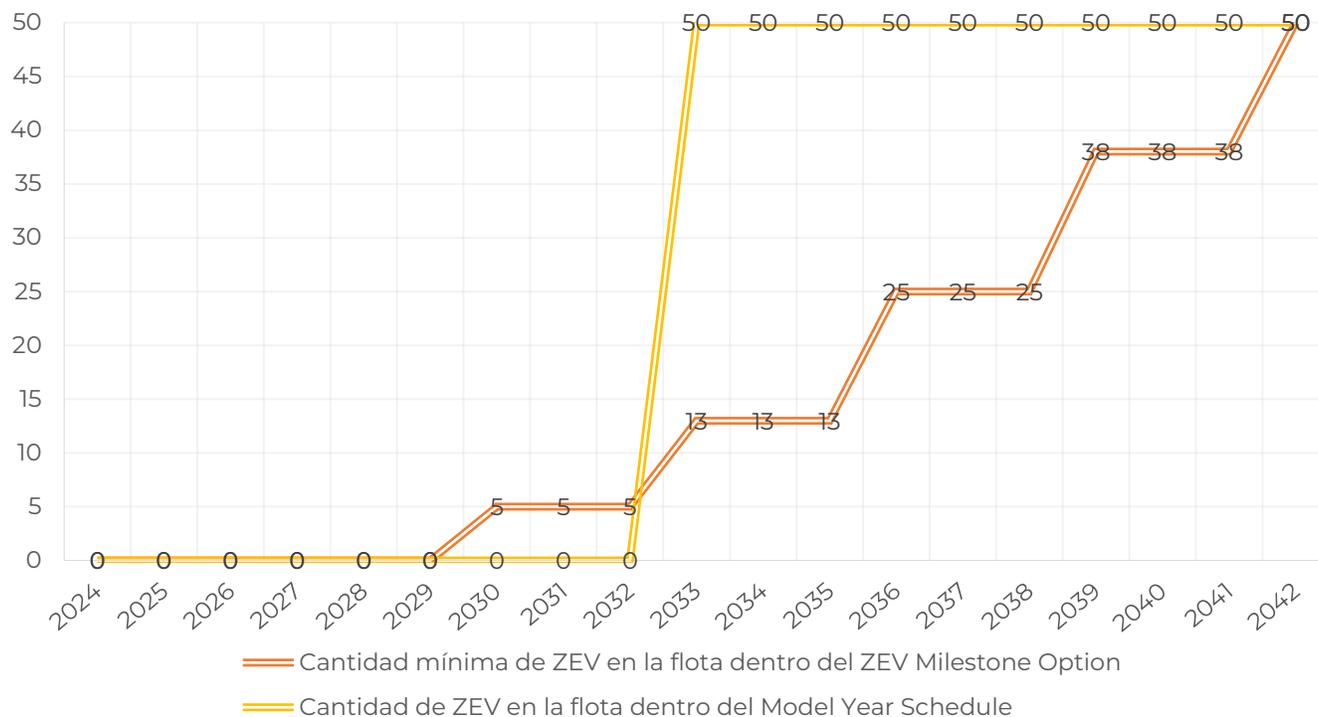
Las flotas pequeñas del gobierno (aquellas con 10 vehículos o menos) y aquellas en condados designados deben comenzar sus compras de vehículos ZEV a partir del 2027.

Tabla 9. Calendario de transición para ZEV *Milestones Option*

Porcentaje de vehículos que deben ser cero emisiones	10%	25%	50%	75%	100%
Grupo 1: Camión de caja, furgonetas, autobuses de dos ejes, camiones de patio, vehículos ligeros de reparto de paquetes.	2025	2028	2031	2033	2035 en adelante
Grupo 2: Camiones de trabajo, camiones de cabina diurna, autobuses de tres ejes.	2027	2030	2033	2036	2039 en adelante
Grupo 3: Camiones con cabina para dormir y vehículos especiales.	2030	2033	2036	2039	2042 en adelante

En colaboración con:

Figura 9. Caso 1: Unidades de ZEV que deben de contar las organizaciones por año en función del ZEV Milestone Option y la Model Year Schedule.



Alternativamente, los propietarios de flotas de gobiernos estatales y locales pueden optar por cumplir los objetivos ZEV utilizando la *ZEV Milestones Option*, que se muestra en la Figura 4.

Las flotas de los gobiernos estatales y locales pueden comprar ZEV o NZEV, o una combinación de ZEV y NZEV, hasta el 2035. A partir del 2035, solo los ZEV cumplirán los requisitos del ACF.

4.1.3 Estudios de casos para la transición de flotillas a ZEV según las modalidades del ACF

Para mostrar la adopción de la regulación ACF en organizaciones y contabilizar las unidades de ZEV que deberían de tener, en función de la modalidad por la que opten, *Model Year*

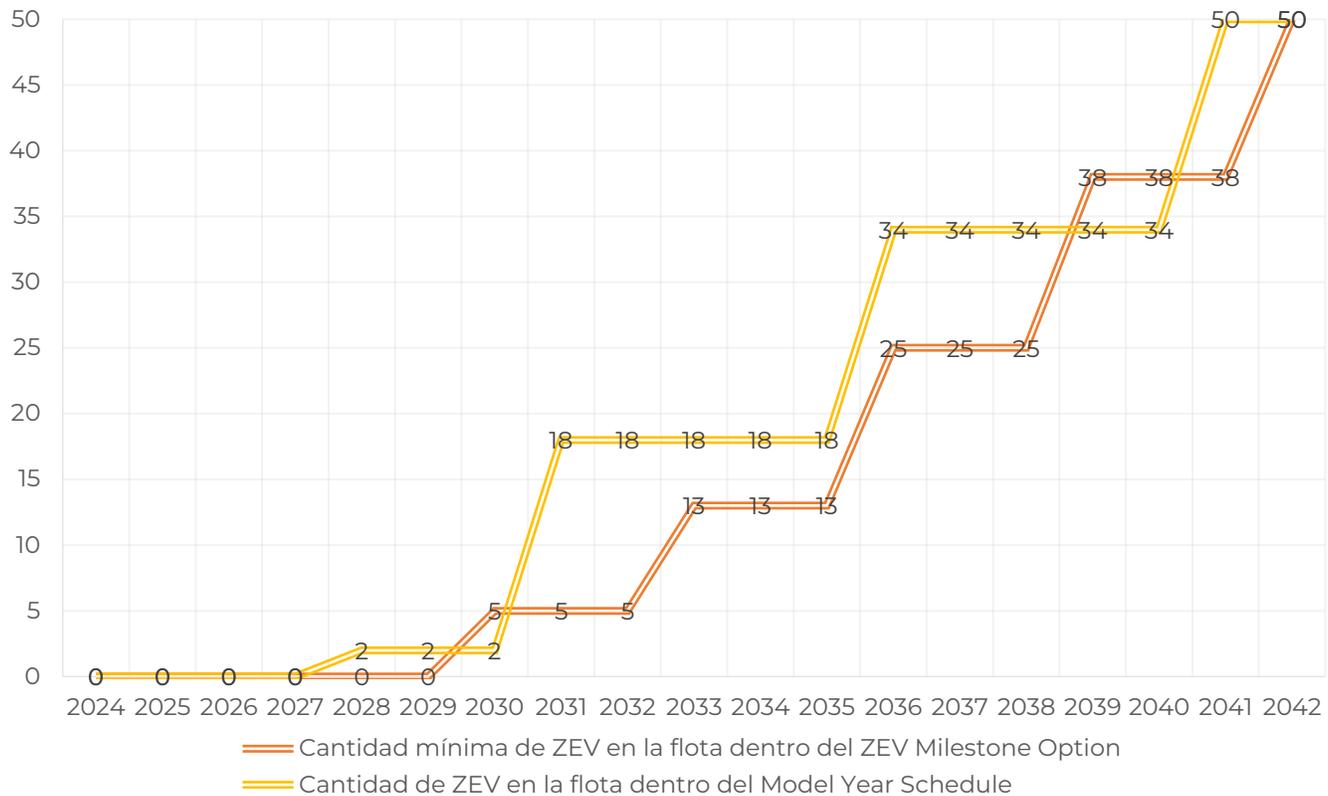
Schedule o *ZEV Milestone Option*, se consideraron los dos casos:

Caso 1: Organización con 50 unidades consideradas en la categoría 3 del *ZEV Milestone Option* (Camión pesado con cabina para dormir), todos modelos 2015 (8 años de antigüedad).

Caso 2: Organización con 50 unidades consideradas en la categoría 3 del *ZEV Milestone Option* (Camión pesado con cabina para dormir), 16 unidades modelos 2023, 16 unidades modelos 2018, 16 unidades modelos 2013 y 2 unidades modelos 2010.

El caso 1 busca ejemplificar a las organizaciones que cuentan con flotillas con modelos no recientes, considerando a los camiones pesados con cabina para dormir fabricados en el 2015 (8 años de antigüedad).

Figura 10. Caso 2: Unidades de ZEV que deben de contar las organizaciones por año en función del ZEV Milestone Option y la Model Year Schedule.



Si estas organizaciones optan por la modalidad *ZEV Milestone Option* no se deberán de preocupar por adquirir ZEV hasta el año 2030.

A partir de ese año tendrían que incrementar paulatinamente el porcentaje de ZEV en sus flotillas, con 5 unidades en el 2030 (10% del total), 13 unidades en el 2033 (25% del total), 25 unidades a partir del 2036 (50% del total), 38 unidades en el 2039 (75% del total) y 50 unidades a partir del 2042, correspondiente al 100% de la flotilla. Lo anterior se aprecia en la Figura 9.

Por otra parte, si las organizaciones del caso 1 optan por el *Model Year Schedule* no tendrán que adquirir ZEV para su flotilla hasta el año 2028 (3 años de desfase respecto al *ZEV Milestone Option*).

Sin embargo, a partir de este año la totalidad de la flotilla de la organización tendría que ser ZEV debido a que sus camiones cumplirían su vida útil de 18 años, por lo que ya no podrían ser utilizados y las nuevas adquisiciones de camiones por parte de la organización tendrían que ser ZEV.

Para el caso 2 se consideró a organizaciones que cuenten con flotillas con modelos de diferentes años de antigüedad (0, 5, 10 y 13 años), suponiendo que periódicamente realizan adquisición de nuevos camiones.

Si las organizaciones optan por el *ZEV Milestone Option* tendrán la misma transición que lo mencionado en el caso 1, pero a partir del año 2028 ya no podrían utilizar sus camiones modelo 2010 debido a que terminaría su vida útil de 18 años.

En colaboración con:

Será decisión de la organización si adquiere camiones de combustión interna o inicia con la transición a ZEV desde ese año. Esto se puede apreciar en la Figura 10.

Si las organizaciones seleccionan el *Model Year Schedule* iniciarían la sustitución de sus camiones en el año 2028, cuando sus modelos 2010 cumplan su vida útil, por lo que tendrían que incorporar dos ZEV.

Para el año 2031 deberían tener un total de 18 ZEV, 34 ZEV para el 2036 y 50 ZEV (100%) para el 2041, un año antes que la *ZEV Milestone Option* debido a la vida útil de los camiones.

4.2 Principales incentivos en California

California cuenta con una amplia variedad de incentivos y programas que buscan reducir la contaminación ambiental. El sector transporte cuenta con distintos apoyos gubernamentales para transitar hacia un sector más limpio, apoyando a instituciones públicas y privadas para el desarrollo de proyectos de transporte que impacten positivamente en el medio ambiente, así como también ofreciendo incentivos, descuentos y financiamiento para la modernización de los camiones de carga.

Además de los apoyos estatales, distintos condados cuentan con sus propios incentivos para apoyar en la transición a camiones de carga cero emisiones, como por ejemplo el *San Joaquin Valley Truck Replacement Program* [14].

4.2.1 Carl Moyer Program for On-Road Heavy Duty Vehicles Voucher Incentive Program

Este programa de incentivos promovido por la CARB tiene como objetivos otorgar subvenciones monetarias a empresas privadas

y agencias públicas para sustituir camiones altamente contaminantes por otros más nuevos y menos contaminantes.

El programa proporciona beneficios reales de emisiones al retirar el vehículo altamente contaminante antes de lo que se esperaría por la depreciación normal o por regulación.

El programa proporciona financiamiento para una variedad de proyectos, incluyendo la modificación, la renovación y el reemplazo de motores pesados.

La cantidad de financiamiento disponible para cada proyecto depende del tamaño de este y las reducciones de emisiones que logre.

En general, cuanto más grande sea el proyecto y mayores sean las reducciones de emisiones, más financiamiento estará disponible [15].

4.2.2 Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project (HVIP)

Es un programa financiado por el estado que proporciona cupones para ayudar a las empresas y organizaciones a comprar camiones y autobuses cero emisiones, híbridos y de bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

El programa es administrado por el CARB y está financiado por el programa *California Climate Investments* [15].

El programa HVIP ofrece una variedad de cupones, incluyendo:

- **Cupones de cero emisiones:** Estos cupones están disponibles para la compra de nuevos camiones y autobuses cero emisiones, como vehículos eléctricos con batería, eléctricos de celda de combustible e híbridos enchufables.

- **Cupones híbridos:** Estos cupones están disponibles para la compra de nuevos camiones y autobuses híbridos.
- **Cupones de bajas emisiones de NOx:** Estos cupones están disponibles para la compra de nuevos camiones y autobuses que cumplen con ciertos estándares de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx).

El monto del cupón depende del tipo de vehículo y las reducciones de emisiones que logra. En general, cuanto más grandes sean las reducciones de emisiones de un vehículo, mayor será el cupón.

El HVIP repartió 1,700 millones de dólares en subvenciones para el periodo 2022-23. De esa cantidad, los camiones recibieron aproximadamente 417 millones de dólares.

Los cupones van desde los 7,500 dólares para camiones de la Clase 2b hasta los 288,000 dólares para un modelo de celda de combustible de hidrógeno de la Clase 8.

4.2.3 Truck Loan Assistance Program

Es un programa estatal que ofrece préstamos a empresas y organizaciones para comprar camiones eléctricos y de cero emisiones. El programa es administrado por la CARB y está financiado por el programa *California Climate Investments* [16].

El programa ofrece préstamos para una variedad de camiones eléctricos y de cero emisiones, incluidos camiones ligeros, camiones medianos y camiones pesados.

Los préstamos están disponibles para empresas y organizaciones con sede en California que comprarán un camión para uso comercial. El monto del préstamo depende del tipo de camión y el precio de compra. Los préstamos pueden cubrir hasta el 80% del costo del camión, con un límite de \$250,000.

Los préstamos tienen un plazo de hasta 10 años y tienen una tasa de interés fija del 3%.

4.2.4 Innovative Small E-Fleet (ISEF)

El objetivo de la reserva ISEF es implementar soluciones innovadoras para ayudar a las pequeñas flotas a hacer la transición a camiones de cero emisiones, incluyendo, pero no limitado a, arrendamientos flexibles, alquileres a corto plazo, camiones como servicio, asistencia con infraestructura, asistencia de planificación de propietarios individuales, mayor financiación disponible y otros mecanismos.

Para el año fiscal 2022-23, 33 millones de dólares del HVIP están disponibles para los cupones ISEF [17].

El objetivo de la reserva es proporcionar una solución sencilla y de bajo costo para implantar camiones de emisiones cero en flotas de California con menos de 20 camiones.

Se pueden solicitar dos tipos de cupones para recibir financiación del ISEF: un cupón de compra estándar o un cupón de proveedor de soluciones innovadoras. La financiación del ISEF se dividirá a partes iguales entre los dos tipos de cupones:

Cupón de compra estándar (incluye leasing y financiación durante más de 3 años): Todos los concesionarios HVIP calificados pueden ofrecer a los clientes que cumplan los requisitos del ISEF el doble del vale HVIP básico utilizando el proceso de solicitud HVIP estándar. Estos cupones están sujetos a todas las normas, términos y condiciones del HVIP. Para estos cupones, el cupón base se financia con el HVIP estándar, y el aumento del cupón ISEF se financia con la reserva del ISEF.

Cupones para proveedores de soluciones innovadoras (arrendamiento financiero a corto plazo, alquiler, camiones como servicio, etc.): Las empresas que tratan de resolver los problemas específicos a los que se enfrentan las flotas pequeñas a través de soluciones innovadoras, como el arrendamiento a corto plazo, el alquiler y las ofertas de camiones como servicio, pueden convertirse en proveedores autorizados del ISEF y ofrecer cupones a través del programa ISEF. El proveedor aprobado por el HVIP solicitará los cupones mediante una solicitud independiente del HVIP estándar.

Los participantes de flotas pequeñas elegibles se definen como:

- Empresas de California, incluidos operadores propietarios independientes, con 20 o menos vehículos con un GVWR superior a 8,500 libras bajo propiedad o control común y domiciliadas en California y con menos de 15 millones de dólares de ingresos anuales (las organizaciones sin ánimo de lucro están exentas del límite de ingresos); y/o
- Empresas privadas de transporte por carretera y organizaciones sin ánimo de lucro (el ISEF no acepta actualmente propuestas para flotas de autobuses o flotas públicas).

Todos los vehículos de emisiones cero de clase 2b-8 nuevos y transformados del catálogo de vehículos elegibles del HVIP pueden optar a la financiación del ISEF.

4.2.5 *EnergIIZE Commercial Vehicles*

Incentivos de Infraestructura Energética para Vehículos Comerciales de Cero Emisiones es el primer proyecto de Estados Unidos para flotas de vehículos comerciales [18].

Financiado por el Programa de Transporte Limpio de la Comisión de Energía de California y ejecutado por CALSTART, *EnergIIZE* ofrece incentivos para el equipamiento de infraestructuras de ZEV de carga media y pesada en California.

EnergIIZE ofrece incentivos para el 50-75% de los costos de equipamiento incurridos con un tope por proyecto de entre 500,000 y 2 millones de dólares (dependiendo de la vía de financiación).

Los incentivos pueden destinarse a equipos de carga de vehículos eléctricos o de hidrógeno y a costos únicos de software.

4.2.6 *Low Carbon Fuel Estándar (LCFS)*

Es un programa de California que establece un estándar para el contenido de carbono de los combustibles vendidos en el estado [19]. El estándar está diseñado para reducir las emisiones de GEI del sector del transporte. El LCFS se basa en un sistema de créditos y débitos.

Los proveedores de combustible que venden combustibles con un contenido de carbono bajo reciben créditos (por ejemplo, las estaciones de carga de autos eléctricos), mientras que los proveedores de combustible que venden combustibles con un contenido de carbono alto deben pagar débitos.

Los créditos y débitos se negocian en un mercado, y el precio de los créditos se establece por la oferta y la demanda. Este programa no apoya directamente con recursos económicos a los propietarios de camiones de carga para la adquisición de camiones cero emisiones, pero incentiva a los propietarios de vehículos cero emisiones con créditos que pueden ser comercializados y volver más atractiva su adquisición y uso.

En colaboración con:

4.2.7 Commercial Clean Vehicle Federal Tax Credit

Este es un incentivo federal que otorga un crédito fiscal a empresas y organizaciones exentas de impuestos que compren vehículos comerciales limpios, con hasta un máximo de \$ 40,000 dólares bajo el Código de Rentas Internas (IRC) 45W.

El crédito máximo es de \$ 7,500 dólares para vehículos calificados con clasificaciones GVWR de menos de 14,000 libras y \$ 40,000 dólares para todos los demás vehículos.



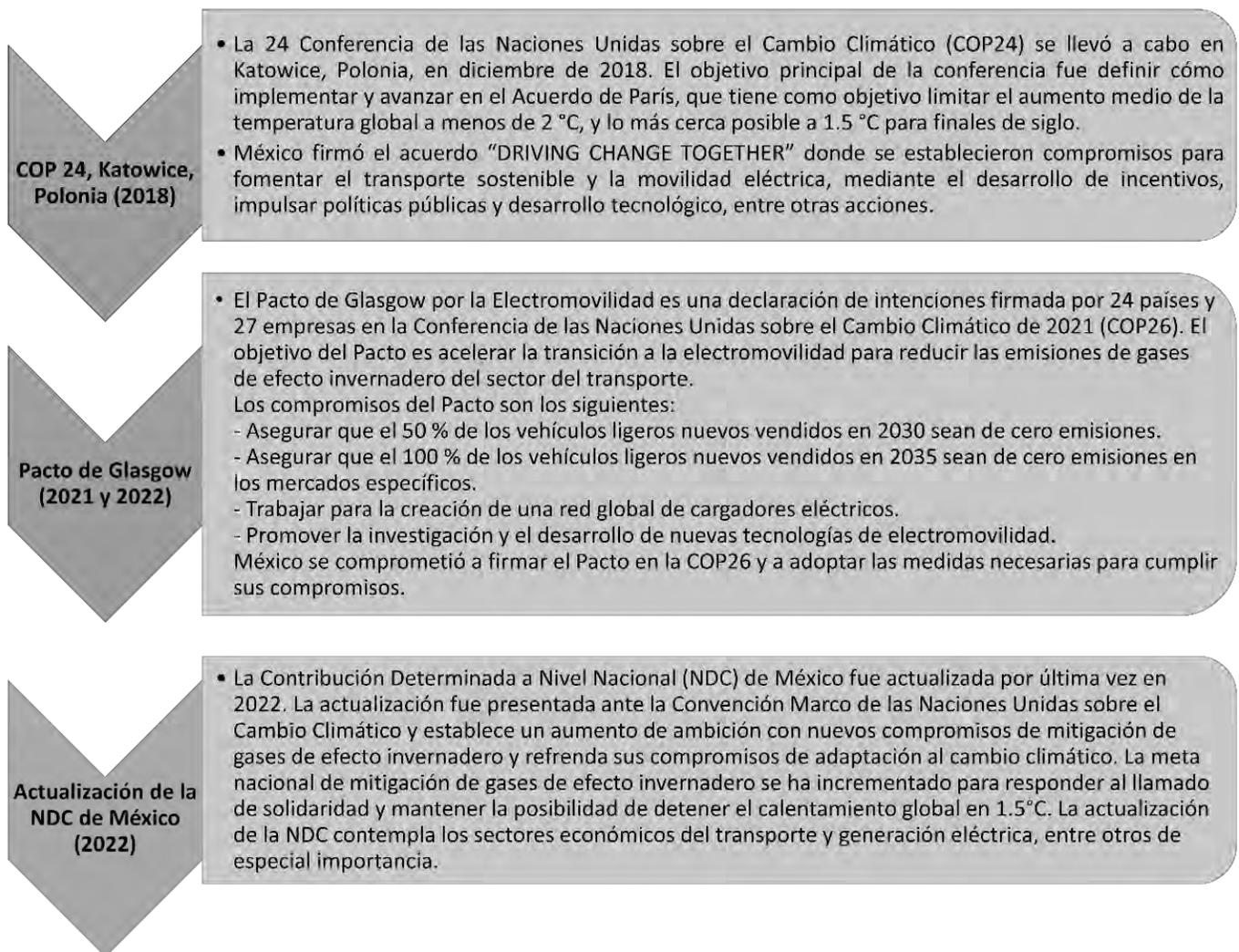
5. Marco normativo para la movilidad cero emisiones en México

La transición hacia un sector transporte de carga cero emisiones debe de venir acompañada de estrategias, programas y políticas públicas que permitan su adopción de forma sostenible y equitativa.

Esta transición buscará asimilar las experiencias que deja el estado de California, Estados Unidos, en donde la transición se está viendo impulsada por diversas acciones y programas.

Sin embargo, el contexto del sector transporte de carga es muy distinto en ambos países, por lo que se deben de proponer estrategias y acciones de acuerdo con las necesidades y capacidades de las organizaciones mexicanas, que permitan transitar hacia el uso de vehículos cero emisiones sin ver afectada su operación.

Figura 11. Compromisos internacionales recientes de México en materia de movilidad cero emisiones. Fuente: Elaboración propia con información de [20,21].



En colaboración con:

5.1 Compromisos internacionales en materia de movilidad eléctrica de México

Durante los últimos años México ha estado afirmando su compromiso con la descarbonización del sector transporte, en conjunto con una gran cantidad de países y organizaciones públicas y privadas, comprometiéndose a los principales acuerdos internacionales que fomentan la transición hacia la movilidad eléctrica.

Estos acuerdos se han dado en las últimas Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP´s). En la COP 24 llevada a cabo en el 2018 en Katowice, Polonia, en donde el objetivo principal de la conferencia fue definir cómo implementar y avanzar en el Acuerdo de París (COP 21).

México firmó el acuerdo “*Driving Change Together*” donde se establecieron compromisos para fomentar el transporte sostenible y la movilidad eléctrica, siendo estas acciones primordiales para disminuir las emisiones de GEI y conseguir el objetivo de

detener el aumento del calentamiento global a un máximo de 1.5 grados Celsius para finales del siglo [20](ver Figura 11).

Durante la COP 26 México se comprometió al Pacto de Glasgow por la Electromovilidad, el cual tiene por objetivo acelerar la transición a la electromovilidad para reducir los GEI del sector transporte.

Siguiendo esta línea, México actualizó su Contribución Determinada a Nivel Nacional en el marco de la COP 27, y anunció un aumento de la meta de reducción de emisiones de 22% a 35% para 2030.

Esta nueva actualización incrementa 5 puntos porcentuales a lo anunciado por la SEMARNAT que estipulaba un objetivo de 30% [21]. Para lograr dichas metas de reducción de GEI, consideran a la transición hacia la electromovilidad como un tema prioritario.

Figura 12. Normatividad Nacional para fomentar la transición a la movilidad eléctrica. Fuente: Elaboración propia con información de [20].



5.2 Normatividad Nacional para fomentar la transición a la movilidad eléctrica

México cuenta con una base legal establecida que fomenta acciones para el mejoramiento de la calidad del aire. Esta base conlleva la participación de distintas instituciones mediante el desarrollo de leyes, reglamentos, normas, planes y estrategias que velen por el bienestar de la población.

En la Figura 12 se puede apreciar el marco legal que sustenta y da certeza jurídica a la implementación de acciones para una transición a la movilidad eléctrica.

Se parte del Artículo 4to Constitucional del derecho humano de las personas a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, así como el derecho a la movilidad.

En relación con lo anterior se desprenden leyes para dar certeza legal y planes que guían las acciones públicas para el cumplimiento de los compromisos ambientales. Para alcanzar los objetivos de una política pública se desarrollan estrategias.

Las estrategias en el ámbito gubernamental para reducir la contaminación ambiental son esenciales para traducir objetivos medioambientales en acciones concretas. Proporcionan una estructura que orienta las iniciativas, alinea los recursos disponibles y facilita la evaluación constante del progreso hacia un entorno más sostenible.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático, la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios y el Programa Especial de Cambio Climático son las políticas públicas de mayor relevancia para fomentar la transición a la movilidad eléctrica.



En ellas se establecen acciones para disminuir la contaminación ambiental, fomentar el uso de fuentes energéticas más limpias y tecnologías que reduzcan el requerimiento energético.

5.2.1 Propuesta de Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME)

La ENME surge hacia 2023 como una propuesta de política pública para establecer las bases para promover la movilidad eléctrica en el país y con el objetivo reducir las emisiones de GEI y contaminantes del sector transporte, así como mejorar la calidad del aire y la salud pública.

La ENME se propuso en el Programa Especial de Cambio Climático y los compromisos internacionales adquiridos por México en materia de cambio climático, como el Acuerdo de París y la Declaración de Glasgow.

Para lograr lo anterior, se propone 4 ejes sectoriales [20]:

- a) Impulso al transporte público eléctrico para una movilidad urbana sustentable.
- b) Impulso a la incorporación de unidades vehiculares eléctricas en el transporte de carga.
- c) Impulso al mercado de vehículos ligeros, eléctricos y motocicletas.
- d) Impulso al mercado de movilidad eléctrica alternativa.

Además de 4 ejes transversales que buscan la estandarización y fomento de la infraestructura para la red de electrolíneas, el impulso a la investigación y desarrollo de una industria en México y el capital humano en movilidad eléctrica, entre otras acciones.

La Figura 13 muestra las metas incluidas en la ENME para el año 2030, 2040 y 2050. Resaltan las metas de porcentajes de ventas de vehículos ligeros y pesados cero emisiones, con un total del 50% para el año 2030, el 100% para el 2040 serán ventas de vehículos eléctricos e híbridos enchufables y, para el 2050, la totalidad de las ventas de vehículos ligeros y pesados serán eléctricos solamente.

También, se establece como meta el contar con infraestructura de recarga disponible, así como normalización y homologación para los cargadores de los vehículos.

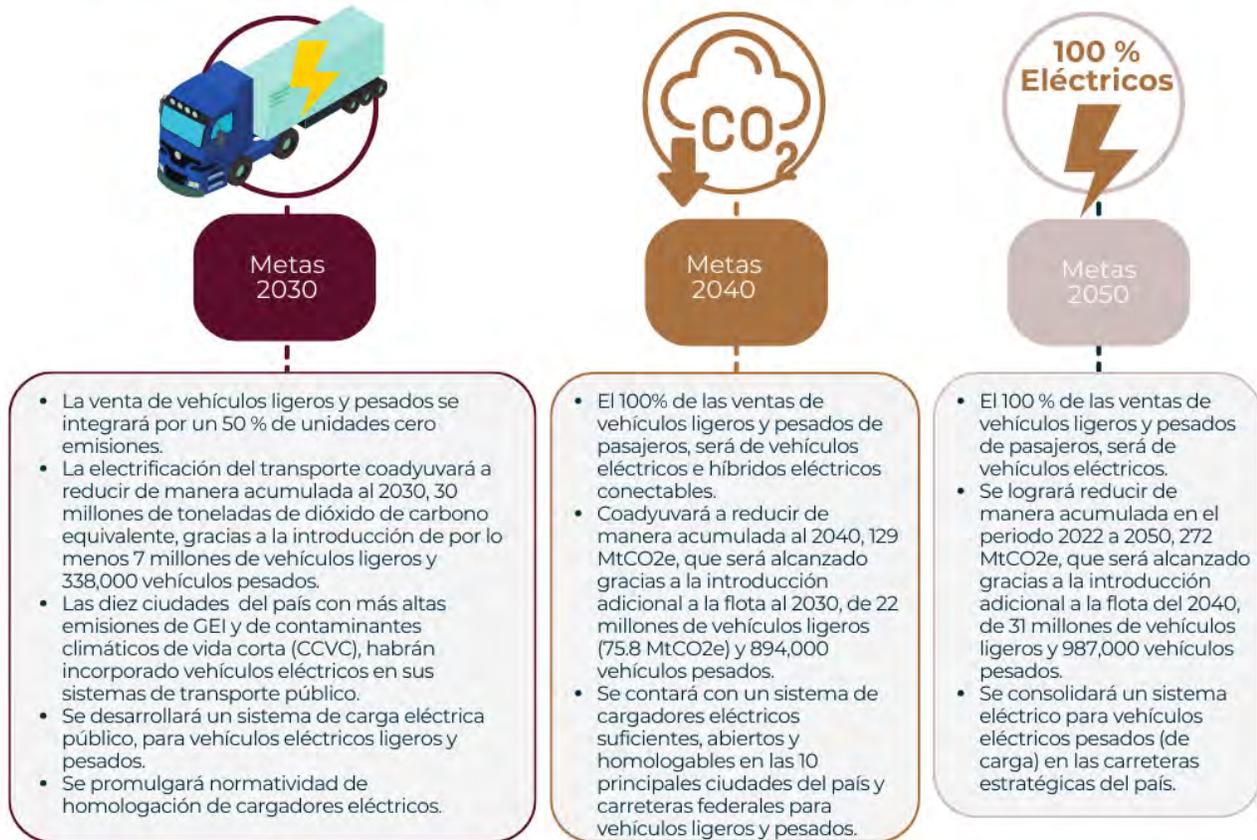
La Comisión Nacional de Mejora Regulatoria (CONAMER), mediante el oficio CONAMER/23/3381, informó la improcedencia de la solicitud de exención de presentación del Análisis de Impacto Regulatorio para la propuesta de ENME, ya que implica un posible impacto sobre los derechos, obligaciones, prestaciones o trámites de los particulares.

Por lo anterior, se tendrá que realizar un análisis mayor respecto a los impactos de esta estrategia para continuar con su establecimiento, por lo que las metas a corto, mediano y largo plazo podrían sufrir modificaciones. Sin embargo, las metas propuestas siguen las tendencias internacionales de descarbonización y movilidad eléctrica, así también están en concordancia con los compromisos internacionales firmados por México en cuanto a reducción de GEI y transición del sector transporte a cero emisiones.

Por lo anterior, esta propuesta sirve de marco para el desarrollo de políticas públicas estatales, normatividad y regulación, entre otras, que promuevan la transición al sector transporte libre de emisiones contaminantes, en línea con los objetivos nacionales.

Figura 13. Resumen de las metas propuestas para la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica.
Fuente: elaboración propia con información de la propuesta de la ENME [20].

Propuesta de Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica



5.2.2 Disposiciones Administrativas de Carácter General en materia de Electromovilidad

En febrero de 2024, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) envió a la CONAMER el anteproyecto de *“Disposiciones Administrativas de Carácter General en materia de Electromovilidad para la integración de infraestructura de carga de Vehículos Eléctricos y Vehículos Eléctricos Híbridos conectables al Sistema Eléctrico Nacional como parte de una Red Eléctrica Inteligente”*, en las cuales se busca regular la conexión de infraestructura de carga para vehículos eléctricos y vehículos eléctricos

híbridos, de forma ordenada y segura para el Sistema Eléctrico Nacional.

Lo anterior también contempla el desarrollo de una plataforma nacional para monitorear el crecimiento de la infraestructura de carga eléctrica en México.

Con esta regulación se pone de manifiesto que el país está trabajando en el área de la movilidad eléctrica y está preparando el marco regulatorio para futuros desarrollos de estaciones de carga que podrían impactar en la seguridad energética de México.

5.3 Regulación estatal

El estado de Baja California cuenta con leyes, planes y programas que buscan mejorar las condiciones ambientales de los habitantes incluyendo:

- Ley de Prevención, Mitigación y Adaptación del Cambio Climático para el Estado de Baja California.
- Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California.
- Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Baja California 2018-2027.
- Ley de Impulso a la Eficiencia Energética para el Estado de Baja California.
- Plan Estatal de Desarrollo 2022-2027.
- Programa Estatal de Energía 2022-2027.

Más recientemente, el Programa Estatal de Energía de Baja California (PEE) 2022-2027 como instrumento de planeación tiene como objetivo promover el desarrollo energético sostenible en el estado.

El PEE se deriva del Plan Estatal de Desarrollo de Baja California (PEDBC) 2022-2027, y está formulado en congruencia con los objetivos de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

Dentro de sus áreas de atención se encuentra el fomentar una transición rápida hacia la descarbonización y el uso de energías limpias, considerando a la movilidad eléctrica de suma importancia para lograrlo.

Para lo anterior, se establecieron una serie de acciones enfocadas en fomentar la transición a vehículos cero emisiones, como la instalación de estaciones de recarga e impulsar el aprovechamiento de las capacidades del estado en temas de hidrógeno,

electromovilidad, descarbonización y almacenamiento de energía.

En el PEE se mencionan por primera vez acciones gubernamentales en concreto para fomentar la movilidad eléctrica, por lo que es un documento de referencia para impulsar regulaciones e incentivos estatales para transitar hacia un sector transporte cero emisiones.

5.4 Incentivos para la movilidad eléctrica en México

Los incentivos son recompensas o estímulos que se ofrecen a las personas para que realicen una determinada acción.

Los incentivos pueden ser de diferentes tipos, como económicos, no económicos, o sociales. Los incentivos tienen una serie de beneficios, entre los que se incluyen:

- **Reducen el costo de los vehículos eléctricos:** Los incentivos fiscales reducen el costo inicial de los vehículos eléctricos, lo que los hace más accesibles para los consumidores.
- **Fomentan la adopción de vehículos eléctricos:** Los incentivos pueden ayudar a aumentar la demanda de vehículos eléctricos, lo que puede conducir a una mayor producción y a precios más bajos.

En colaboración con:

- **Contribuyen a la protección del medio ambiente:** Los vehículos eléctricos no producen emisiones contaminantes, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y la salud pública.

En México, el gobierno ha implementado una serie de incentivos fiscales y económicos para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y el desarrollo de la infraestructura necesaria.

Estos incentivos abarcan desde exenciones y reducciones de impuestos hasta créditos fiscales y deducciones, así como beneficios en ciertos estados. Un resumen de los principales incentivos se presenta en la Tabla 10.

Los incentivos para la movilidad cero emisiones en México han tenido un impacto positivo en el desarrollo de esta alternativa de transporte. En los últimos años, se ha observado un aumento en la venta de vehículos eléctricos en el país.

Según datos de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, en 2022 se vendieron en México 5,631 vehículos eléctricos, en comparación con los 1,140 vendidos en el 2021, 4.9 veces más de un año para otro, y se prevé que este porcentaje incremente año con año a medida que las opciones tecnológicas incrementen y los costos disminuyan.

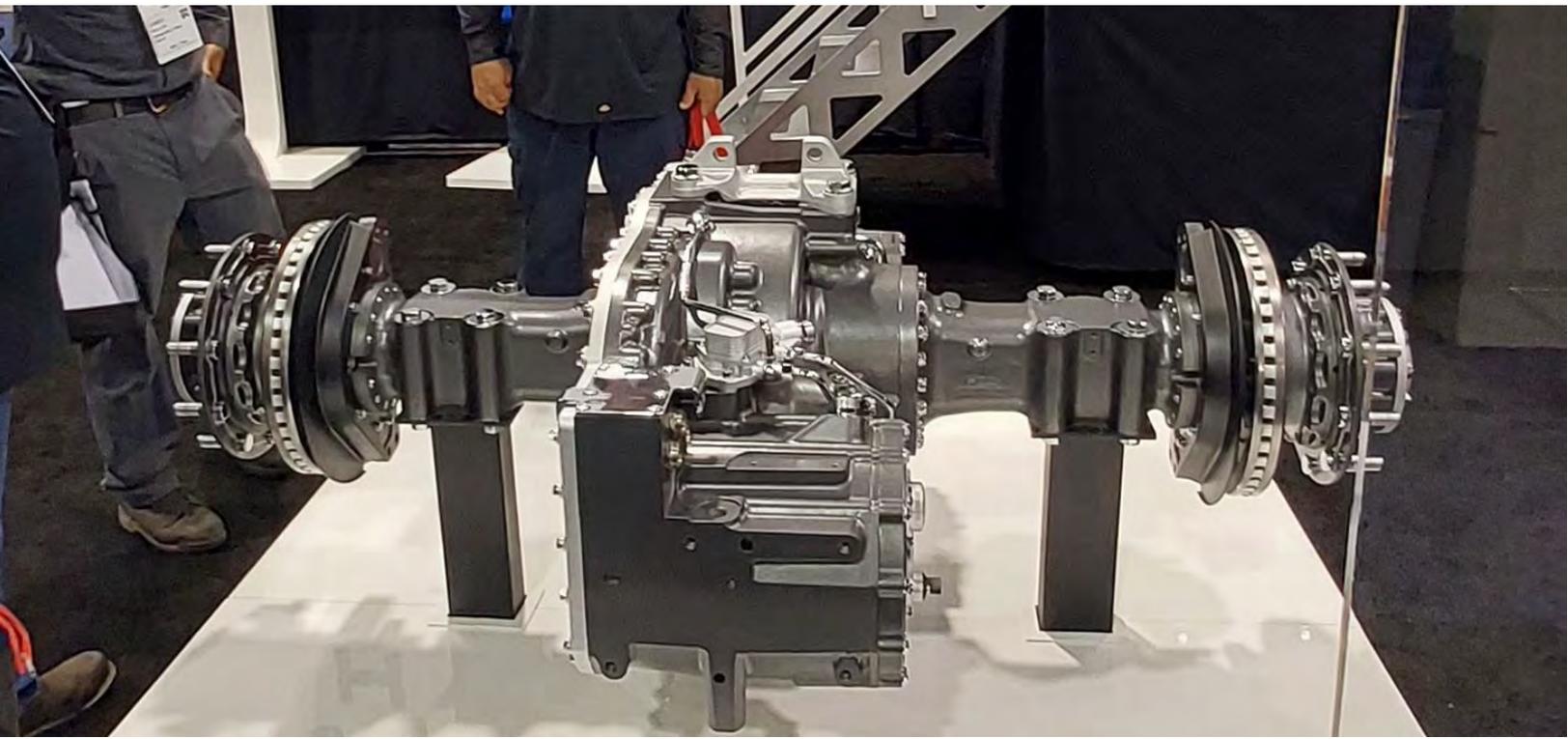


Tabla 10. Incentivos para la movilidad eléctrica en México. Fuente: elaboración propia con información de [20,22]

Exención del 100% del Impuesto sobre Automóviles Nuevos (ISAN), que suele oscilar entre el 2 y el 5% del precio de venta al público del vehículo (Artículo 8, Fracción IV, de la Ley Federal del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos). El ISAN sólo se aplica a los vehículos con una capacidad máxima de 15 pasajeros y una capacidad máxima de carga inferior a 4,250 kg.

Exención del 100% del impuesto de importación para todos los vehículos eléctricos nuevos. El impuesto de importación para vehículos nuevos con motor de combustión interna es del 20% del precio de venta al público. Aplicable del 4 de septiembre 2020 al 30 septiembre 2024, contenida en el Decreto por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación, publicado en el DOF el 03 de septiembre de 2020.

Reducción del impuesto de importación del 50% al 15% del precio de venta al público del vehículo para vehículos eléctricos usados. El impuesto a la importación de vehículos usados con motor de combustión interna se mantiene en el 50% del precio de venta al público. Aplicable del 4 de septiembre 2020 al 30 septiembre 2024, contenida en el Decreto por el que se modifica la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación, publicado en el DOF el 03 de septiembre de 2020.

Deducción adicional de \$75,000 del Impuesto Sobre la Renta (ISR) para la compra de vehículos eléctricos de batería, híbridos conectables y de celda de combustible de hidrógeno, además de la deducción de \$175,000 para todas las inversiones en la compra de vehículos (Artículo 36, Fracción II, Ley del Impuesto Sobre la Renta).

Crédito fiscal del 30% del ISR para inversiones en electrolinerías de acceso público (Artículo 204, Ley del Impuesto Sobre la Renta).

Deducción adicional de \$85 de ISR por día para arrendamientos de vehículos eléctricos de batería, híbridos conectables y de celda de combustible de hidrógeno, además de la deducción de \$200 por día aplicable a todos los arrendamientos de vehículos (Artículo 28, Fracción XIII, Ley del Impuesto Sobre la Renta).

Deducción del 100% y en un solo ejercicio de la inversión en equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables (Artículo 34, Fracción XIII, Ley del Impuesto Sobre la Renta).

Algunos estados ofrecen exenciones del impuesto sobre la propiedad (tenencia o refrendo) para los vehículos eléctricos a batería e híbridos, reducción del 20% en peajes de autopistas, exenciones en verificaciones de emisiones, exenciones en limitación horaria de camiones de carga.

Tarifa preferencial de electricidad e instalación gratuita de medidores para estaciones de recarga domiciliaria.

6. Alternativas tecnológicas e implicaciones técnicas de la implementación del autotransporte de carga cero emisiones.

En la actualidad, cada vez son más los países que han establecido metas y objetivos específicos para reducir y mitigar las emisiones con respecto al sector transporte [23].

Los vehículos convencionales de carga mediana y pesada (MHDV, por sus siglas en inglés), representan aproximadamente el 23 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos [24].

El cambio climático, la contaminación y los impactos en la salud, son algunas de las principales preocupaciones que genera el aumento de estas emisiones de combustión [25].

A pesar de que a nivel mundial ha incrementado significativamente la venta y utilización de ZEV para transporte de pasajeros y de carga ligera, el transporte de cargas medianas y pesadas sigue siendo un sector donde los ZEV tienen baja utilización.

Esto se debe principalmente a las largas distancias y el alto pesaje al que este tipo de vehículos debe someterse y a la carencia de infraestructura necesaria para solventar estas limitantes.

6.1 Clasificación de los vehículos de carga mediana y pesada

Un vehículo se clasifica como vehículo de carga o de servicio pesado si tiene una clasificación de peso bruto vehicular (GVWR, por sus siglas en inglés) superior a 26,000 lb o 11.8 toneladas [26]. El GVWR es el peso máximo en carga del

vehículo, es decir, el peso del vehículo más su carga útil.

En Estados Unidos, existen diferentes categorías y clasificación de los vehículos según el peso bruto del vehículo. Esta clasificación se distribuye desde la Clase 1 hasta la Clase 8 [26].

Los vehículos de Clase 7 incluyen grúas, camiones de muebles y autobuses de tránsito, mientras que los vehículos de Clase 8 incluyen semirremolques, camiones de volteo y camiones de bomberos, por mencionar algunos.

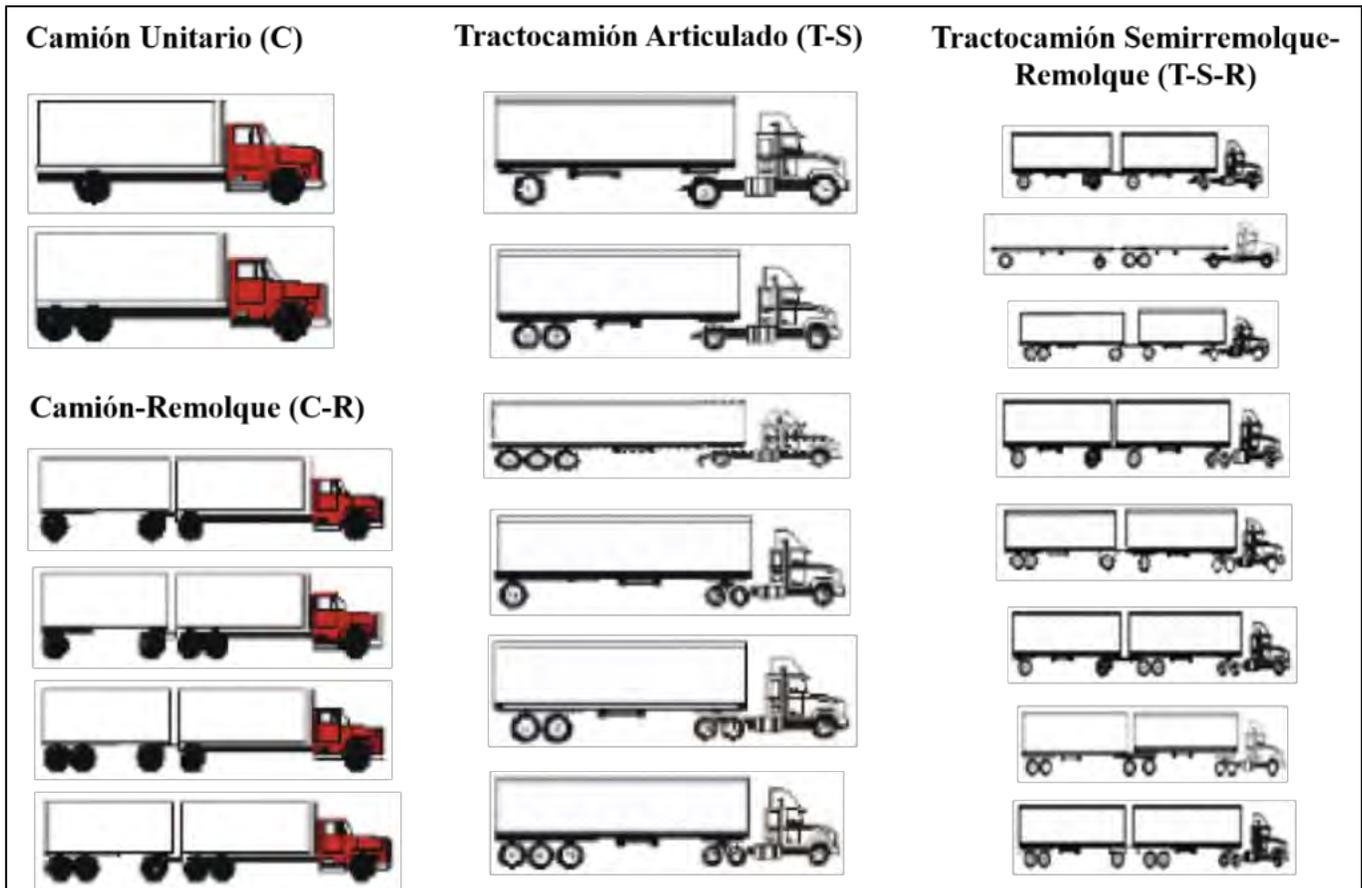
Los vehículos de Clase 7 tienen un peso máximo total de 26,000 lb a 33,000 lb, y los vehículos de Clase 8, se reparten en dos categorías; Clase 8a, con un peso total máximo de 33,001 lb a 60,000 lb, mientras que la Clase 8b, incluye a los vehículos con un peso total mayor a las 60,000 lb, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación vehicular por peso en Estados Unidos.

Clase de vehículo	Peso Bruto Vehicular (GVWR)	
	Libras (lb)	Toneladas (t)
Clase 1	<6,000	< 2.7
Clase 2a	6,001 - 8,500	2.7 - 3.8
Clase 2b	8,501 - 10,000	3.8 - 4.5
Clase 3	10,001 - 14,000	4.5 - 6.4
Clase 4	14,001 - 16,000	6.4 - 7.3
Clase 5	16,001 - 19,500	7.3 - 8.8
Clase 6	19,501 - 26,000	8.8 - 11.8
Clase 7	26,001 - 33,000	11.8 - 15.0
Clase 8		
Clase 8a	33,001 - 60,000	15.0 - 27.2
Clase 8b	> 60,000	>27.2

Fuente: Elaboración propia con información de U.S. Department of Energy [26].

Figura 14. Diagramas esquemáticos de los vehículos de carga media y pesada en México. Elaboración propia con información de NOM-012-SCT-2-2017.



En México la clasificación de vehículos se divide en: Autobús (B), Camión unitario (C), Tractocamión (T), Convertidor (D), Camión Remolque (C-R), Tractocamión articulado (T-S) y Tractocamión doblemente articulado (T-S-R Y T-S-S) según la NOM-012-SCT-2-2017. La clasificación vehicular en México según el peso bruto se presenta en la Tabla 12. En la Figura 14 se presentan de manera esquemática los vehículos de carga mediana y pesada en México.

6.2 Características generales de los tractocamiones eléctricos.

Los tractocamiones eléctricos presentan el principio operativo de los vehículos eléctricos de batería (BEV, por sus siglas en inglés).

Estos vehículos, se impulsan mediante energía eléctrica y no requieren el uso de un motor de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés).

Los BEV convierten la energía química almacenada en materiales activos en energía eléctrica dentro de las celdas electroquímicas. Las baterías de estos vehículos, a diferencia de las celdas de combustible de hidrógeno, tienen el material activo almacenado dentro del sistema, mientras que las celdas de combustible lo alimentan continuamente.

Los vehículos eléctricos de baterías suelen utilizar paquetes de baterías de iones de litio para alimentar la propulsión de los motores eléctricos, debido a su alta densidad de energía y potencia, alta eficiencia energética y larga vida útil [27–29].

Tabla 12. Clasificación vehicular por peso en México. Elaboración propia con información de NOM-012-SCT-2-2017.

Clase de vehículo	Peso Bruto Vehicular (GVWR)	
	Toneladas (t)	Libras (lb)
C2	13.0 - 19.0	28,660 - 41,888
C3	16.0 - 24.0	35,274 - 52,911
C3	18.5 - 27.5	40,785 - 60,627
C2-R2	35.5 - 37.5	78,264 - 82,673
C3-R2	42.0 - 44.5	92,594 - 98,106
C3-R3	47.5 - 51.5	104,719 - 113,538
C2-R2	41.0 - 44.5	90,389 - 98,106
T2-S1	22.5 - 30.0	49,604 - 66,139
T2-S2	28.0 - 38.0	61,729 - 83,776
T3-S2	33.5 - 46.5	73,855 - 102,515
T3-S3	40.0 - 54.0	88,185 - 119,049
T2-S3	34.5 - 45.5	76,059 - 100,310
T3-S1	28.0 - 38.5	61,729 - 84,878
T2-S1-R2	47.5	104,719.5
T2-S1-R3	54.5	120,151.8
T2-S2-R2	54.5	120,151.8
T3-S1-R2	54.5	120,151.8
T3-S1-R3	60.5	133,379.5
T3-S2-R2	60.5	133,379.5
T3-S2-R4	66.5	146,607.2
T3-S2-R3	63.0	138,277.2
T3-S3-S2	60.0	132,277.2
T2-S2-S2	51.5	113,537.9
T3-S2-S2	58.5	128,970.3

6.2.1 Modelos disponibles de tractocamiones eléctricos

En 2023, se vendieron en todo el mundo poco más de 50,000 autobuses eléctricos y 57,000 camiones pesados y medianos, lo que representó aproximadamente el 3.1 % de todas las ventas de autobuses y el 0.9 % de las ventas de camiones en todo el mundo [30].

En la Figura 15 se puede apreciar las cifras de ventas anuales globales de camiones a

baterías, híbridos conectables y de celda de combustible, en el periodo del 2015 al 2023.

La cantidad de modelos que se ofrecen a nivel mundial para BEV's de cero emisiones continúa expandiéndose en 2023, con 843 modelos de vehículos de servicio mediano y pesado actuales y anunciados en la base de datos del Inventario de Tecnología *Global Drive to Zero Emission* (ZETI) [31].

En 2023, Estados Unidos contó con un total de 82 modelos disponibles de camiones eléctricos de baterías medianos y pesados, presentando un incremento de 23.9% en comparación al 2021.

Asimismo, existen 22 fabricantes activos en la región de Estados Unidos y Canadá con al menos un modelo de tractocamión eléctrico de cero emisiones, lo que ha representado un incremento de 71.55% en el número de fabricantes con respecto al año 2021 [31].

En la Tabla 13 se presentan los fabricantes y modelos de tractocamiones eléctricos de carga pesada, disponibles en Estados Unidos y Canadá, considerando los modelos del 2020-2023.

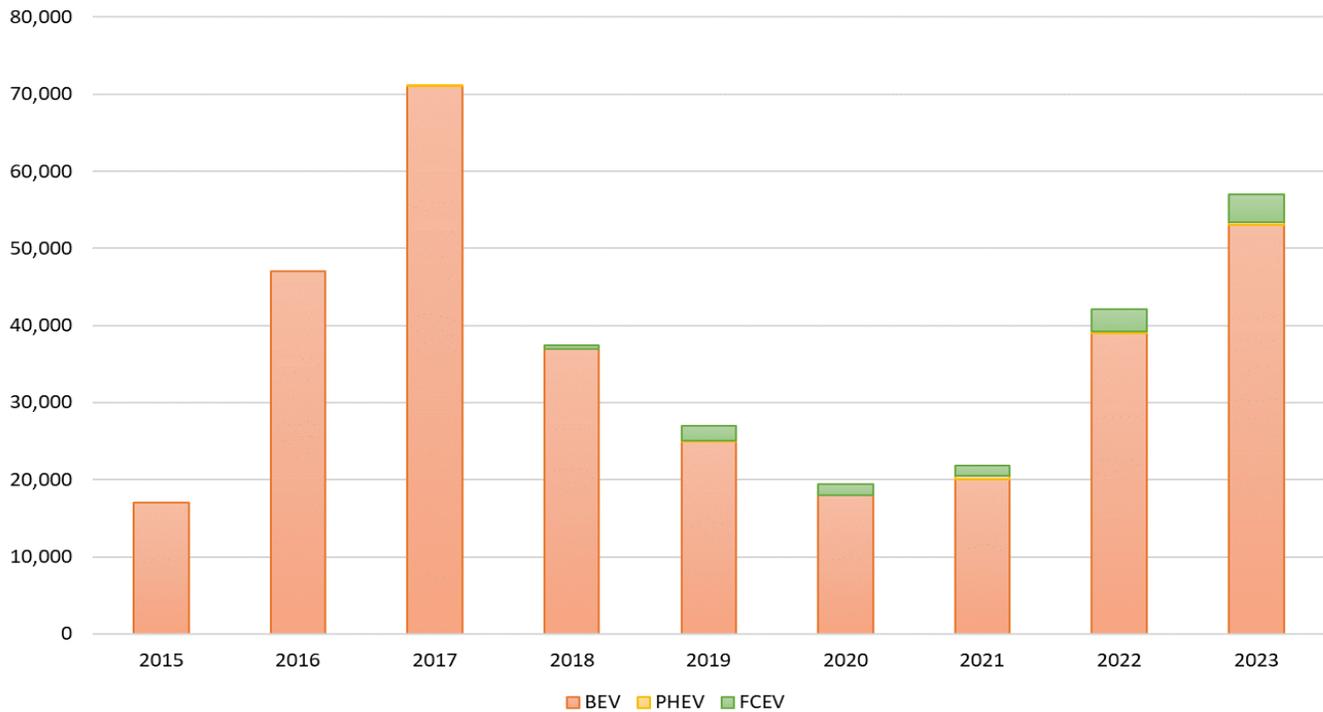
Considerando la información de ZETI, hasta el 2023 en México existen cinco fabricantes de vehículos eléctricos de carga pesada y siete modelos distintos en total. En la Tabla 14 se presentan dichos fabricantes y modelos.

6.2.2 Autonomía de los tractocamiones eléctricos

La autonomía de los MHDV depende directamente del tipo de baterías utilizadas y del peso bruto del vehículo. Recientes investigaciones presentan que la autonomía de la batería de un BEV típico es de 100-200 km por carga [32,33].

Los datos actuales publicados en la base de datos ZETI de CALSTART, indican que la autonomía de un camión mediano en Estados Unidos oscila entre 250-320 km por carga,

Figura 15. Ventas anuales globales de camiones a baterías eléctricas (BEV), híbridos enchufables (PHEV) y de celdas de combustible (FCEV). Elaboración propia con información de la Agencia Internacional de Energía [30]



mientras que para los camiones pesados la autonomía se mueve en el intervalo de los 250-370 km por carga.

No obstante, en la Tabla 13 se aprecia que existen modelos de tractocamiones eléctricos que cuentan con una autonomía mayor a los 500 km.

Uno de los mayores retos que se afrontan actualmente al hablar de vehículos eléctricos de carga, es el peso que tienen las baterías en relación con la capacidad requerida por los MHDV.

Para un recorrido de 800 km, la capacidad requerida de la batería sería aproximadamente de 1,000 kWh de energía, lo que implicaría un incremento en el peso de la batería de hasta al menos 5,500 kg, considerando las baterías con las densidades energéticas actuales [34].

El tiempo de recarga de una batería para un MHDV es un factor de importancia y depende del tipo de cargador y de la capacidad de cada camión. Un camión necesitaría un cargador de nivel 3, que puede generar una potencia superior a 25 kW [23]. La tecnología actual tiene la capacidad de cargar a más de 150 kW.

Sin embargo, con salidas de potencia especuladas de 1 MW, el tiempo de recarga teóricamente podría reducirse a 1 h.

La carga rápida ha tenido implicaciones negativas en cuanto a la degradación, ya que una carga más rápida puede resultar en una vida útil más corta de la batería [35].

La vida útil de una batería en los BEV de carga es de alrededor de 6 años (1000 a 2000 ciclos de vida útil) debido a la degradación de la batería [36].

Tabla 13. Fabricantes, y principales características de tractocamiones eléctricos de carga. Fuente: elaboración propia con información de CALSTART [31].

Tecnología	Año	Fabricante	Modelo	Clase	Autonomía	Capacidad de energía	Tiempo de recarga aproximado
  <p>Eléctrico</p>	2022	Battle Motors	LET2	8	175 mi / 282 km	540 kWh	3.2 y 6.7 h
	2021	BYD	8TT	8	200 mi / 322 km	422 kWh	2.5 h
	2022	Einride	Truck	8	400 mi / 640 km	-	4 h
	2023	Freightliner	eM2	8	230 mi / 370 km	438 kWh	2 h
	2023		eM2	7	250 mi / 402 km	291 kWh	1 h
	2021	Hexagon Purus Systems	eM2	7	125 mi / 201 km	440 kWh	2 h
	2022	International	eMV	7	135 mi / 217 km	210 kWh	2 h
	2021	Kenworth	T680E	-	150 mi / 241 km	396 kWh	3 h
	2021		Lion8	8	142 mi / 227 km	252 kWh	2.5 h
	2021	Lion	Lion8T Tractor Truck	8	249 mi / 400 km	653 kWh	4 h
	2021		Nikola	Tre BEV	8	350 mi / 563 km	753 kWh
	2020	Peterbilt	220EV	7	230mi / 322km	282 kWh	1-2 h
			520EV	8	120 mi / 193 km	400 kWh	3-4 h
			579EV	8	150 mi / 241 km	400 kWh	3 h
	2020	SEA Electric	Autocar ACMD	7	150 mi / 241 km	160 kWh	2 h
	2020		Ford F-750	7	170 mi / 274 km	138 kWh	2 h
	2021		Autocar ACMD	8	150 mi / 241 km	216 kWh	2 h
	2020		F. Cascadia	-	150 mi / 241 km	216 kWh	1.5 h
	2020		F. M2 105	-	150 mi / 241 km	160 kWh	1 h
	2020		F. M2 106	-	150 mi / 241 km	160 kWh	1 h
	2020		Hino GH EV	8	125 mi / 201 km	220 kWh	2 h
	2020		Kenworth T370	7	150 mi / 241 km	160 kWh	1 h
	2023	Tesla	Semi	8	500 mi / 805 km	1000 kWh	0.5 h
	2021	Volvo	VNR Electric	8	275 mi / 443 km	565 kWh	1.5 h
	2022	XOS	HDXT	8	230 mi / 370 km	-	4-5 h
	2023	Mack Trucks	Mack MDe	7	230 mi / 370 km	240 kWh	-
	2024	Foton	S12 EV	7	250 mi / 402 km	282 kWh	-
	2024		EST EV	8	200 mi / 322 km	282 kWh	-

En colaboración con:

Tabla 14. Fabricantes y modelos de camiones unitarios y tractocamiones eléctricos de carga disponibles en México. Fuente: elaboración propia con información de CALSTART [31].

Tecnología	Año	Fabricante	Modelo	Clase	Autonomía	Capacidad de energía
Eléctrico  	2022	BYD	Q3MA	8	240 km / 149 mi	422 kWh
	2022	International	eMV	7	217 km / 135 mi	210 kWh
	2022	Megaflux	MF18T (Glider)	8	145 km / 90 mi	143 kWh
	2022	Scania	25P Eléctrico 4x2	8	135 km / 84 mi	165 kWh
	2022		25P Eléctrico 6x2	8	250 km / 155 mi	297 kWh
	2022	Volkswagen	e-Delivery 4x2	7	200 km / 125 mi	170 kWh
2022	e-Delivery 6x2		7	200 km / 125 mi	170 kWh	

Figura 16. Distintos tipos de cargadores para tractocamiones eléctricos. Fuente: elaboración propia.



Carga móvil
<40 kW



Carga rápida (flex)
150-350 kW



Carga rápida
50-150 kW



Carga ultra rápida
750 kW-3MW

En colaboración con:

6.2.3 Estaciones para recarga de vehículos eléctricos

Existen diferentes opciones para la infraestructura de carga estacionaria por cable para satisfacer las diferentes necesidades de los camiones eléctricos de batería, incluyendo el tamaño de la flota, el kilometraje diario y el tipo de operación.

Estas opciones van desde la carga lenta en corriente alterna (CA) con una potencia inferior a 43 kW hasta la carga rápida (alcanza una potencia de 350 kW) y ultrarrápida en corriente continua (CC) con una potencia de hasta varios MW (en desarrollo) [37], como se muestra en la Figura 16.

La ubicación típica de estos cargadores varía. La recarga en depósito está situada en la terminal de un operador y se utiliza normalmente para la recarga nocturna. La carga en destino la utilizan los camiones mientras cargan y descargan en lugares como tiendas, centros de distribución y terminales multimodales.

La carga pública puede utilizarse durante el día o la noche en lugares accesibles al público. Los tipos de carga más comunes, sus ubicaciones típicas y los tiempos de carga estimados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Resumen de los tipos de recarga estacionaria por cable. Elaboración propia con información de ICCT [37].

Tipo de carga	Potencia nominal de salida	Ubicación	Tiempos de carga estimados
Carga nocturna	50-150 kW DC	Almacén, aparcamiento o público	8 horas
Carga rápida	150-350 kW DC	Estación de recarga pública, almacén, lugar de destino	0.5 horas
Carga ultra rápida	750kW – 3 MW DC		0.5 horas

6.2.4 Costos asociados a infraestructura y vehículos eléctricos

El costo de los vehículos eléctricos y de la infraestructura de carga asociada es la barrera más citada por los transportistas y que limita su adopción [38].

Dependiendo directamente del modelo y clase, un vehículo eléctrico de batería puede costar entre un 40% y un 200% más que un vehículo de combustión interna de tamaño equivalente.

Un cargador rápido de corriente continua (DCFC) de 50 kW, que es capaz de cargar un tractocamión de gran peso durante la noche, puede costar entre \$400,000 y \$720,000 pesos [39], lo anterior aunado a costos adicionales de instalación e interconexión a la red eléctrica. En conjunto, estos costos iniciales pueden suponer una barrera considerable para muchas flotas, y en particular para las empresas pequeñas con limitado acceso a financiamiento.

Aunque inicialmente los MHDV implican una mayor inversión, proporcionan un ahorro operativo considerable a largo plazo que se espera se magnifique con la maduración de las tecnologías y las economías de escala. Esto es debido, principalmente, al menor costo de la electricidad en comparación con el diésel, y los menores costos de mantenimiento de los MHDV en comparación con los vehículos convencionales de diésel.

Un caso de estudio de autobuses eléctricos de batería para el sistema de tránsito rápido de camiones (BRT, por sus siglas en inglés) de Ciudad de México, demostró que el costo total de propiedad (TCO), que incluye todos los gastos de capital y operativos durante la vida útil del vehículo, es un 21% inferior al de sus homólogos con tecnología diésel en 10 años, y un 32% inferior en 15 años. Esto se debe sobre todo al ahorro en combustible, que es un 78% menor en los autobuses eléctricos que en los de diésel [40].

Las mejoras tecnológicas están reduciendo aceleradamente los costos en todas las

clasificaciones de vehículos de nuevas tecnologías, empezando por los autobuses de pasajeros y los camiones unitarios ligeros.

Los análisis realizados por el Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) sobre disponibilidad comercial y TCO muestran que los MHDV serán competitivos en costos y maduros comercialmente, y podrían alcanzar el 100% de las ventas tan pronto como 2030 y no más tarde de 2035 en varios mercados, incluido México [41].

Otros análisis han demostrado que el costo total de propiedad de los MHDV alcanzará la paridad con el diésel antes de 2030, y mucho antes con la implementación de políticas e incentivos adecuados [42].

Los distintos tipos de recarga enumerados anteriormente varían mucho en cuanto a su costo total. Hay tres factores principales que afectan al costo: la potencia nominal, la ubicación (almacén, destino privado, público) y el número de puntos de recarga por estación.

El costo total de la infraestructura de recarga incluye los costos iniciales y los de funcionamiento. Los costos iniciales incluyen el hardware y el software de la estación, la conexión a la red eléctrica, el permiso de construcción y los costos de planificación e instalación. Los costos de explotación incluyen el mantenimiento, la electricidad, las telecomunicaciones y la gestión.

El costo del terreno puede incluirse tanto en la categoría de costos iniciales como en la de costos operativos, dependiendo de si el terreno es propio o alquilado [37]. La Tabla 16 resume las opciones de carga estacionaria por cable para camiones eléctricos de batería, incluyendo el tipo de cargador, la ubicación típica, y el costo de capital estimado [37]. No obstante, es importante señalar que estos costos se basan en datos europeos y pueden variar según el país de instalación.

6.2.5 Tipos de conectores de carga para vehículos eléctricos

Los tractocamiones eléctricos de carga pesada utilizan una variedad de conectores de carga para cargar sus baterías. En la Figura 17, se presentan algunos de los conectores de carga más comunes para vehículos eléctricos. Las características principales por tipo de conector son las siguientes:

Conector Tipo 1 (J1772): Este conector de carga de nivel 1 y 2 se utiliza principalmente en los Estados Unidos, Canadá y Japón. Ofrece una capacidad de carga de hasta 7.4 kW, lo que lo hace ideal para la carga doméstica [43].

Conector Tipo 2 (Mennekes): Este conector es el estándar de la Unión Europea para los cargadores de vehículos eléctricos. Este conector admite carga de hasta 43 kW, lo que permite la carga rápida. Muchos vehículos eléctricos de la UE vienen con este conector [43].

Conector CHAdeMO: Este conector es una especificación de carga rápida para vehículos eléctricos. Fue desarrollado en Japón y es utilizado principalmente por fabricantes japoneses como Nissan y Mitsubishi. Este conector permite la carga rápida de hasta 62.5 kW [43].

Conector Combo 1 (CCS1): Este conector combina los conectores J1772 y CHAdeMO en uno solo. Este conector admite la carga rápida y lenta, y es común en América del Norte [43].

Conector Combo 2 (CCS2): Este conector es similar al Combo 1 pero está diseñado para el estándar europeo Mennekes. Este conector admite tanto la carga rápida como la lenta y es el más común en Europa 1.

Conector Tesla (Supercharger): Este conector exclusivo de Tesla es capaz de proporcionar hasta 120 kW de potencia, lo que permite

En colaboración con:

recargar hasta el 80% de la batería en unos 30 minutos. Sin embargo, este tipo de conector solo es compatible con los vehículos Tesla 1.

Conector GB/T: Este conector es el estándar de carga para vehículos eléctricos en China. Este conector es capaz de soportar tanto la carga lenta como la rápida, con una potencia de hasta 60 kW [43].

predominante era el SAE J1772 para cargadores de Nivel 1 y Nivel 2, y el CCS para cargadores rápidos de Nivel 3. Sin embargo, en los últimos años, el conector Tesla se ha popularizado y ha comenzado a ser adoptado por otros fabricantes, siendo conocido como el NACS en este contexto.

Figura 17. Tipos de conectores de carga para vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia con información de [43]. *CE: Comunidad Europea.

Tipo de conectores de carga para vehículos eléctricos					
	Norte América	Japón	CE y el resto de los mercados	China	Todos los mercados excepto. CE
AC	 J1772 (Tipo 1)	 J1772 (Tipo 1)	 Mennekes (Tipo 2)	 GB/T	 SAE J3400 Tesla (Super cargador)
DC	 CCS1 (Combo 1)	 CHAdeMO	 CCS2 (Combo 2)	 GB/T	

Por otra parte, en la búsqueda de desarrollar una infraestructura homogénea y garantizar la interoperabilidad de las estaciones de carga, diversas empresas del sector automotriz han iniciado un movimiento para la estandarización de los tipos de conectores en el mercado, permitiendo que, sin importar la marca o modelo del vehículo, el usuario tenga mayor opción de recarga.

El North American Charging Standard (NACS) es un conjunto de especificaciones y protocolos para los cargadores de vehículos eléctricos en América del Norte. Inicialmente, el estándar

6.3 Características generales de los tractocamiones de celda de hidrógeno

Los vehículos cero emisiones de hidrógeno tienen un principio operativo similar a los vehículos eléctricos de batería, debido a que ambos son impulsados por un motor eléctrico.

La principal diferencia es que los vehículos denominados solo como eléctricos se recargan directamente con energía eléctrica y la almacenan en una batería, mientras los

vehículos de hidrógeno se recargan con hidrógeno presurizado (tanques) y utilizan una celda de combustible para convertir el hidrogeno en energía eléctrica en un momento más cercano al instante de su uso.

Los vehículos de hidrógeno también utilizan baterías para almacenar energía eléctrica con los propósitos de iniciar la operación de la celda de combustible, almacenar energía eléctrica generada por el frenado regenerativo, proporcionar potencia extra durante aceleraciones y ayudar en la propulsión a baja velocidad para evitar que la celda de combustible opere en una región de baja eficiencia [44].

Las celdas de combustible de hidrógeno son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química del hidrógeno en agua, calor y electricidad sin realizar procesos de combustión, por tal motivo, tienen la ventaja de no emitir gases de escape [45]. Las celdas de combustible más utilizadas son; membrana de intercambio protónico (PEMFC, por sus siglas en inglés).

La vida útil de una celda de combustible está limitada por los procesos de degradación relacionados a el catalizador y la membrana. El final de la vida útil se puede vislumbrar cuando

la degradación del voltaje cae 10% comparado con el voltaje que se tenía al inicio de la vida útil [46].

6.3.1 Modelos disponibles de vehículos de hidrógeno

En comparación con los vehículos “eléctricos” de cero emisiones que obtienen electricidad de una batería, los vehículos de cero emisiones de hidrógeno que obtienen energía eléctrica mediante celdas de combustible basadas en hidrógeno tienen un mayor rendimiento en aplicaciones para largas distancias.

Por tal motivo, el hidrógeno se vislumbra como el principal combustible para la tercera transición hacia cero emisiones en vehículos de carga mediana y pesada. La Tabla 17 muestra los vehículos de hidrógeno para transporte de carga pesada disponibles al 2023 a nivel mundial, con base a la información reportada por CALSTART[31].

Basados en la información reportada por la base de datos ZETI para el año 2023 no hay modelos de vehículos de hidrógeno para transporte de carga mediana disponibles en la región norteamericana, solo para carga pesada. La Tabla 18 muestra las especificaciones

Tabla 17. Especificaciones de los HDV de hidrógeno disponibles a nivel mundial en el 2023.

Fabricante	Modelo	Año	Autonomía (km)	Clase
Hyundai	XCIENT	2019	400	Clase 8
Hyzon	Hymax	2021	400-680	Clase 8
Hyzon	FCET 8	2021	800	Clase 8
Dayun	E8	2021	310	Clase 8
Dayun	E9	2021	430	-
Skywell	TP11	2021	500	Clase 8
FAW	J7	2022	700	-
Feichi	FSQ4250	2022	500	Clase 8
King Long	KLQ4250FCEV3	2022	510	Clase 8
SAIC	CQ1180FCEVEQ	2022	-	Clase 8
Shaanxi	X5000	2022	-	Clase 8
Dongfeng	LZ5180	2022	460	Clase 8
Hyundai	HDC-6	2023	1,280	-
Kenworth	T680	2023	480	Clase 8
Nikola	Tre	2023	800	Clase 8

En colaboración con:

reportadas por cada fabricante para sus HDV disponibles en el mercado norteamericano.

6.3.2 Costos de vehículos de hidrógeno para carga mediana y pesada

Los costos de cada vehículo varían según el tamaño de la flota que se va a adquirir y de los incentivos aplicables. Por ejemplo, los compradores del Nikola Tre FCEV en 2023 podrán optar al incentivo estatal de California valorado en 240,000 dólares por camión y 270,000 dólares por camión para flotas de transporte de mercancías.

El costo de las tecnologías emergentes disminuye significativamente en el momento que incrementa la oferta, por tal motivo, algunas políticas como la ACF y el “Memorándum de Acuerdo Mundial sobre Cero Emisiones de Vehículos Pesados y Medios”, firmado por 16 países y respaldado por varias partes interesadas del sector, presiona a los fabricantes de camiones para que aumenten su oferta de camiones de emisiones cero.

Actualmente, en California el costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés) de los vehículos para carga pesada de cero emisiones

suministrados con hidrógeno puede ser competitivo con el de los vehículos para carga pesada suministrados con diésel si el precio de las celdas de combustible baja a 100 USD/kW.

Esta reducción de costos puede lograrse en los próximos 10 a 20 años, a medida que se realicen más avances tecnológicos asociados [45]. La empresa canadiense Ballard ha realizado proyecciones donde muestra que el costo de las celdas de combustible puede bajar a 100 USD/kW o costos menores en el corto plazo si la producción de celdas alcanza tasas de 100,000 unidades por año[47].

Se espera que los vehículos clase 7 y 8 de celda de combustible de hidrógeno, que ofrecen autonomías suficientes para satisfacer las aplicaciones de larga distancia, jueguen un rol importante en el futuro, aunque hasta la fecha no se han identificado modelos comercialmente disponibles en México.

Aun así, el optimismo de los fabricantes globales está impulsando la innovación en camiones de distancia larga con cero emisiones y hay indicios de que la comercialización de este segmento se dará más rápidamente de lo esperado.

6.3.3 Autonomía de vehículos de hidrógeno

El rendimiento promedio de un vehículo de hidrógeno de clase 8 (carga pesada) se encuentra cercano los 6.7 km por kg de hidrógeno y se vislumbra que para 2050 incremente a 9.1 km por kg de hidrógeno.

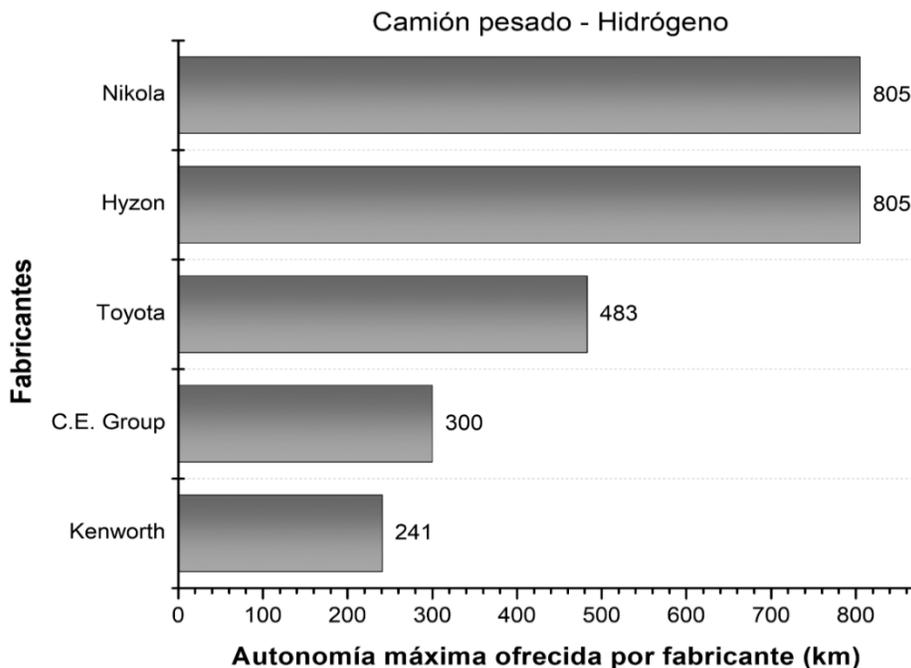
Los camiones de carga pesada almacenan en promedio 70 kg de hidrógeno, por lo cual su autonomía promedio en la actualidad es de aproximadamente 500 km.

Tabla 18. Especificaciones de HDV de hidrógeno disponibles en Norteamérica

Fabricante	Modelo	Año	Tiempo de recarga	Autonomía	Clase
Nikola	TRE FCEV	2024	20 minutos	805 km	C3/Class 8a
HYZON	HYHD8-200	2024	15 minutos	565 km	C3/Class 8b
HYZON	HYHD8-110	2024	15 minutos	565 km	C3/Class 8b
Hyliko	Hyliko Truck	2024	20 minutos	400 km	ND
Cenntro	LM864H	2023	-	300 km	C2/Class 7
Kenworth	T680	2024	-	725 km	C3/Class 8b

En colaboración con:

Figura 18. MHDV de hidrógeno para carga pesada disponibles en Norteamérica.



Sin embargo, según la base de datos ZETI, en el 2023 existen modelos de vehículos de hidrógeno para carga pesada disponibles en Norteamérica fabricados por la empresa Nikola y Hyzon con autonomías superiores a 500 km (Figura 18).

La velocidad de recarga de hidrógeno se encuentra entre 5 y 7 kg de hidrógeno por minuto, por lo tanto, para un vehículo de carga pesada en la actualidad el tiempo de recarga promedio es de 15 minutos [15]. Recargar hidrógeno a una presión 350 bar es de \$18 a \$37 pesos por kilogramo más barato que con 700 bar debido al menor costo del servicio.

Aunque los vehículos de hidrógeno son en realidad vehículos impulsados por energía eléctrica, presentan características similares a las de los vehículos diésel para transporte de carga pesada en términos de utilización, incluida la autonomía, que puede alcanzar los 800 km y un tiempo de recarga que no supera los 20 minutos.

6.3.4 Estaciones para recarga de hidrógeno

A pesar de que los vehículos de hidrógeno son una solución prometedora para la descarbonización del sector transporte, especialmente en la categoría de vehículos de carga mediana y pesada, la falta de infraestructura para producción y recarga de hidrógeno es la principal limitante para su expansión y consolidación.

En casos donde el hidrógeno se produce en sitio (en la estación de recarga) las dos tecnologías más utilizadas son reformado de vapor metano y electrólisis, con capacidades entre 100 y 1000 kg/día. En la actualidad la capacidad predominante es de 100 kg/día.

La Tabla 19 muestra los costos actuales de las diferentes tecnologías utilizadas para la producción de hidrógeno y la Tabla 20 presenta los componentes de una estación para recarga de hidrógeno [48].

Tabla 19. Comparativa costos de producción por kilogramo de hidrógeno [49].

Método de producción	Costo (mxn) por kilogramo de H ₂
Reformado de vapor metano	25-45
Gasificación de carbón	35-60
Electrólisis (Energía Renovable)	45-120
Gasificación biomasa	50-85
Fotoelectroquímica	340-510

En Estados Unidos, leyes recientes como la *Bipartisan Infrastructure Bill* han destinado cerca de \$ 8,000 millones de dólares a la ampliación de las tecnologías del hidrógeno y al establecimiento de al menos cuatro centrales de hidrógeno a escala nacional.

Además, otros programas, como el "*Hydrogen Earthshot*", pretenden reducir el costo del hidrógeno limpio en un 80%, hasta llegar a 1 dólar por kilogramo para el año 2030 [50].

En California, políticas como el mandato de ZEV, el ISEF, el ACT, el ACF y el HVIP han fomentado la adopción del hidrógeno, especialmente en el sector del transporte.

Otras iniciativas notables como HyDeal LA, en la que el Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles se está asociando con la Coalición del Hidrógeno Verde para desarrollar una cadena de suministro de hidrógeno basada en energías renovables, han catapultado las perspectivas de California de convertirse en un importante centro de hidrógeno en el futuro.

Para finales del 2018 únicamente existían 370 estaciones para recarga de hidrógeno a nivel mundial la mayoría de ellas ubicadas en Europa, Japón y América [51]. El reporte global de hidrógeno de la IEA indica que para finales de 2021 existían 700 estaciones para recarga de hidrógeno y para junio de 2022 incrementaron a 975.

Estados Unidos tiene una relación aproximada de 200 vehículos de hidrógeno por cada estación de recarga, mientras que países como China tienen relaciones de 30 vehículos por cada estación y la relación promedio mundial es de 60 vehículos por estación [50] lo que deja

Tabla 20. Componentes de una estación para recarga de hidrógeno

Componente	Función	Proveedor en Norteamérica
Purificador	Asegurar pureza de 99.97% del hidrógeno	Matheson
Compresor	Elevar la presión de hidrógeno para almacenamiento a alta presión	Pan American Hydrogen, Inc.
Tanques	Almacenamiento de hidrógeno a alta presión	Hydrogen Technology & Energy Corporation
Potenciador	Regular la presión 350 o 700 bar durante recarga	FLW, Inc
Unidad de enfriamiento	Reducir la temperatura del hidrógeno a -40°C y asegurar que durante una recarga rápida el tanque de hidrógeno del vehículo no exceda los 85 °C por motivos de seguridad.	Harrington Industrial Plastics
Equipo de seguridad	Válvulas de alivio de presión, sensores de hidrógeno, extintor de incendios sin agua.	WHA-INTERNATIONAL, INC
Equipo mecánico y eléctrico	Válvulas, tubería, tableros de control y conexiones de alto voltaje	Pan American Hydrogen, Inc.
Dispensadores	Suministro de hidrógeno de la estación al tanque del vehículo	CRYOSTAR

En colaboración con:

de manifiesto necesidades de expansión de la infraestructura para recarga de hidrógeno.

La infraestructura necesaria para la producción de hidrógeno conlleva altas inversiones económicas. De igual manera tiene una implicación directa en el sector eléctrico, debido a que su producción requiere altas cantidades de energía eléctrica.

Por lo tanto, la transición hacia la utilización de vehículos de cero emisiones para transporte de cargas medianas y pesadas suministrados con hidrógeno debe acompañarse de una planeación exhaustiva que permita lograr una buena relación costo/beneficio.

La implementación de energías renovables permite mitigar significativamente los costos ambientales y económicos que conlleva la producción de hidrógeno.

Cuando el hidrógeno se produce de forma centralizada se encuentra a presiones cercanas a 30 bar; en casos donde el transporte de hidrógeno a las estaciones de recarga se realiza mediante camiones, ferrocarriles o barcos, este se comprime hasta aproximadamente 180-200 bar; en caso de utilizar gasoductos para largas distancias se comprime hasta aproximadamente 70 bar.

El transporte por tuberías es considerado una solución de bajo costo cuando se adapta infraestructura existente, en caso contrario la inversión inicial que conlleva una tubería para transporte de hidrógeno se convierte en una de las principales barreras económicas debido a que exige el uso de equipo, material y personal certificado.

Para un diámetro determinado, la inversión inicial de las tuberías de acero específicas para hidrógeno es un 10-50% superior con respecto a las tuberías utilizadas para transporte de gas natural. El transporte de hidrógeno por carretera se lleva a cabo con camiones pesados que contienen remolques tubulares con; hidrógeno gaseoso comprimido (GH₂) a presiones de más de 180 bares, hidrógeno líquido (LH₂) en tanques especializados a

temperaturas criogénicas de -253 °C para largas distancias. El transporte de hidrógeno líquido suele ser mucho más costoso que el de hidrógeno gaseoso debido a la gran cantidad de energía necesaria para licuar el hidrógeno.

6.4 Comparativa entre vehículos eléctricos y de hidrógeno para carga mediana y pesada

La Tabla 21 muestra una proyección y comparativa del rendimiento entre vehículos utilizados para transporte de carga mediana y pesada en carreteras y ciudades con las tecnologías de motor diésel, eléctrico de batería e hidrógeno.

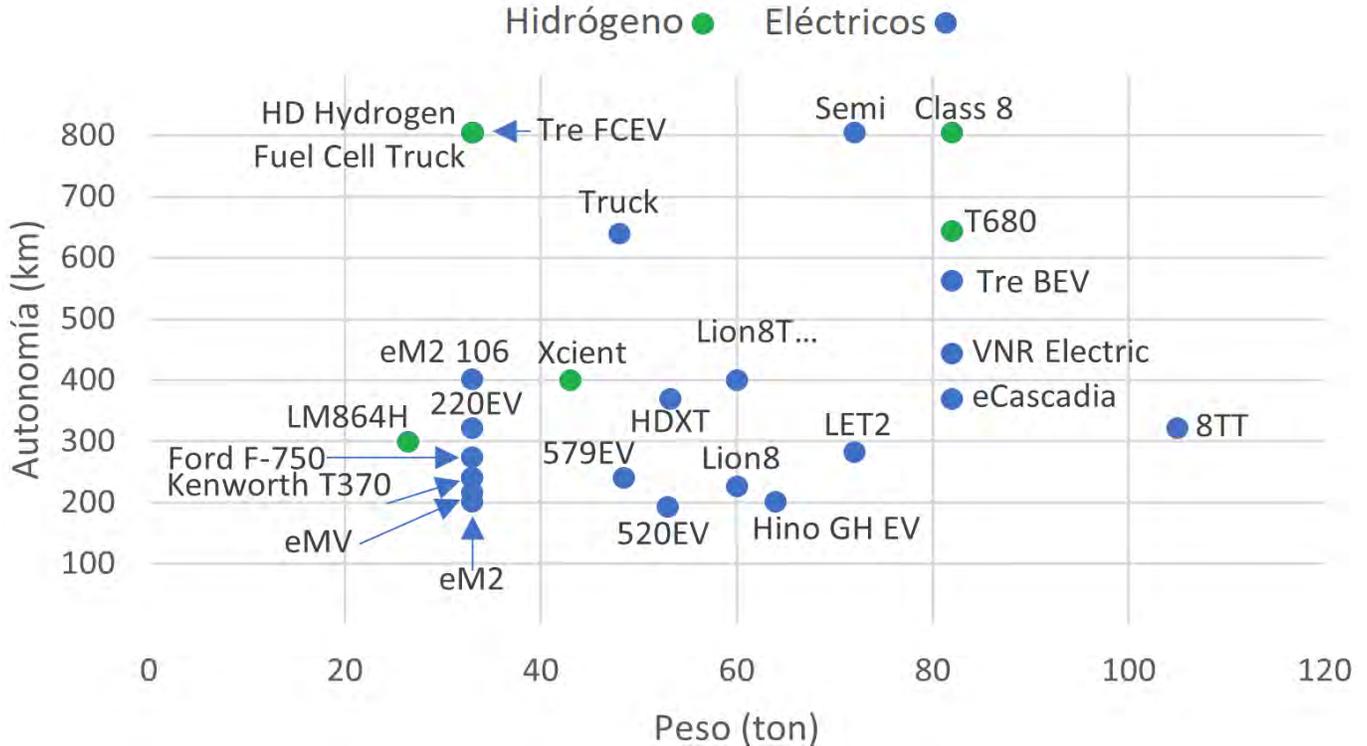
Tabla 21. Comparativa de tecnologías para MHDV`s proyectados al 2030-2050 [52].

Tipo de Vehículo	*2030	2050
Camión de reparto MD (ciudad)		
Alimentación por Baterías (kWh/100 mi)	85	72
Celda de combustible (kgH ₂ /100 mi)	5.6	5.2
Diesel mpg	10.5	12.5
Camión HD de largo recorrido (carretera)		
Alimentación por Baterías (kWh/100 mi)	240	200
Celda de combustible (kgH ₂ /100 mi)	15	11
Diesel mpg	8.7	10.1
Camión HD de corto recorrido (ciudad)		
Alimentación por Baterías (kWh/100 mi)	233	210
Celda de combustible (kgH ₂ /100 mi)	12.9	11.6
Diesel mpg	8.2	9
Camioneta HD (ciudad)		
Alimentación por Baterías (kWh/100 mi)	53	58

* 80% de la capacidad de la batería se utiliza inicialmente, 150 Wh/kg en el 2030, 225 Wh/kg en el 2050.

En colaboración con:

Figura 19. Modelos de camiones de carga eléctricos y de hidrógeno en función de su peso y autonomía. Fuente: elaboración propia.



Los vehículos eléctricos de batería tienen la mayor eficiencia, pero tienen menor capacidad de carga útil con respecto a los vehículos de hidrógeno debido al peso y tamaño de la batería.

Por tal motivo, la tecnología de batería es más adecuada para aplicaciones de servicio más ligero y recorridos más cortos debido a su alcance y capacidad de carga limitados.

A pesar de que en la actualidad la cantidad de estaciones de recarga para vehículos eléctricos es mucho mayor comparada con los vehículos de hidrógeno, sus largos tiempos de recarga la limitan para recorridos largos.

Los vehículos de hidrógeno tienen mayor autonomía y menor tiempo de recarga comparado con los vehículos eléctricos, incluso son comparables al diésel en cuanto a la autonomía y al tiempo de recarga. Sin embargo, la cadena de suministro para vehículos de hidrógeno es menos eficiente desde el punto de vista energético, más cara y complicada con respecto a los vehículos

eléctricos de batería, lo que la convierte en un reto a mediano plazo para la expansión de este tipo de vehículos [53].

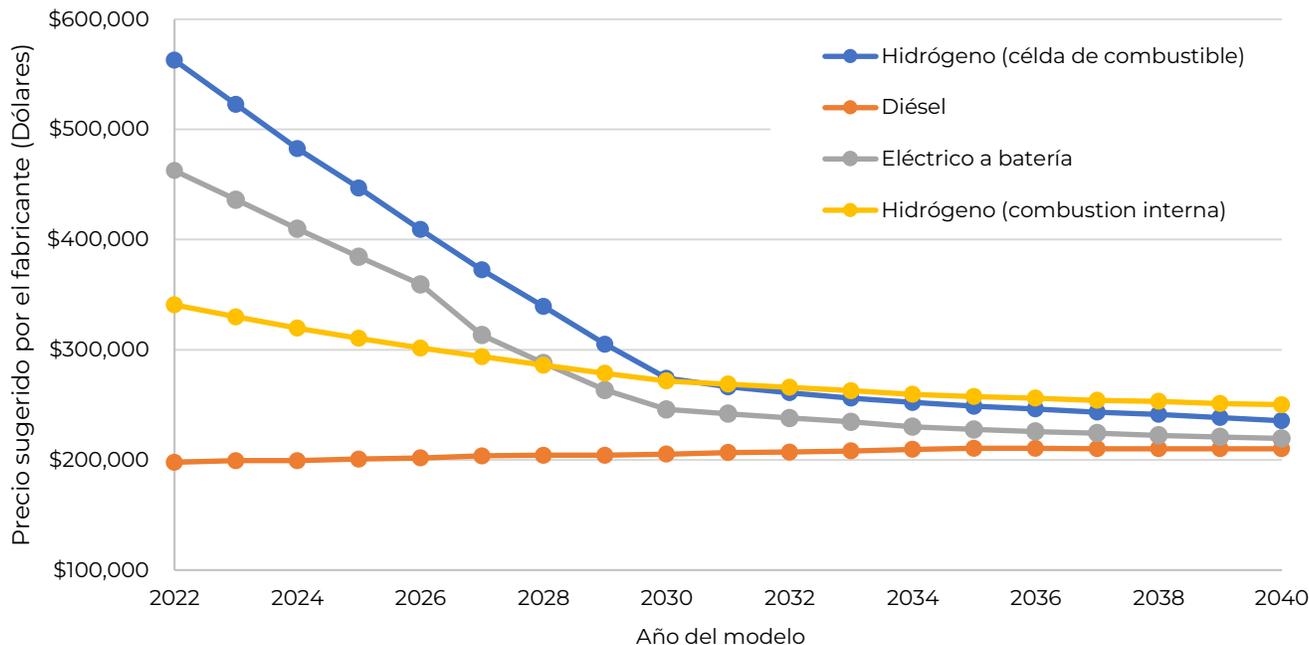
El alto contenido de energía específica del hidrógeno la vuelve una tecnología prometedora para el sector transporte de vehículos medianos y pesados, debido a que ofrecen la posibilidad de aumentar la potencia suministrada con incremento de peso bajo, en comparación con los vehículos eléctricos de batería. Además, tienen la capacidad de almacenar hidrógeno a largo plazo sin pérdidas.

En la Tabla 22, se muestran las ventajas y desventajas cualitativas que existen entre las tecnologías de vehículos diésel, baterías y celdas de combustible.

Para apreciar de mejor forma las autonomías de los distintos modelos de camiones de carga eléctricos y de hidrógeno disponibles y en producción, en la Figura 19 se presentan los modelos disponibles en función de su peso.

En colaboración con:

Figura 20. Proyección del costo de adquisición de distintas tecnologías de camiones de carga clase 8 entre el año 2022 al 2040. Fuente: Modificado de [54].



Así también, en la Figura 20, se muestra la proyección para Estados Unidos de los costos al 2040 de los camiones de carga clase 8 con tecnología diésel, hidrógeno (celda de combustible y combustión interna) y eléctricos a baterías [54].

El costo inicial de los camiones pesados depende en gran medida de la tecnología utilizada para su propulsión.

En el año 2022, los camiones a base de celdas de combustible presentaron el precio de venta más alto, alcanzando los 600,000 dólares debido principalmente al costo de la celda y el tanque de hidrógeno. Los camiones eléctricos a batería le siguen de cerca con un precio cercano a los 500,000 dólares.

En comparación con los camiones diésel tradicionales, los camiones con motor de combustión interna a base de hidrógeno son casi 120,000 dólares más caros debido al elevado costo de los tanques de hidrógeno.

Se espera que el precio de venta de todas las tecnologías alternativas de camiones disminuya entre 2022 y 2040. Esta reducción se debe a las economías de escala y a la reducción prevista en el costo de los componentes principales del sistema de propulsión de emisión cero, como baterías, celdas de combustible y tanques de hidrógeno.

Por otro lado, se anticipa un aumento en el precio de los camiones diésel para cumplir con las futuras normas de emisiones, asumiendo que la tecnología diésel alcance su máximo potencial para el año 2035.

Se prevé una disminución significativa en el precio estimado de los camiones eléctricos a batería entre 2026 y 2027. Esto se basa en la expectativa de una amplia cobertura de estaciones de carga en Estados Unidos para 2027, lo que permitiría a los fabricantes diseñar baterías más pequeñas con la posibilidad de recargar durante el día, traduciéndose en precios de venta más bajos.

Tabla 22. Comparativa cualitativa para tecnologías de transporte MHDV` s

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Diesel	El costo más bajo del vehículo.	Altas emisiones de gases de efecto invernadero.
	No requiere inversión en infraestructura.	Fuente de contaminación del aire local (altas emisiones del tubo de escape).
	Largo alcance y alta carga útil.	Alto coste de repostaje y mantenimiento.
	Tiempo de reabastecimiento de combustible más rápido que los BEV.	
	Gran mercado con repuestos y vehículos ampliamente disponibles.	Baja eficiencia energética.
	Tecnologías con normativas EuroVI y EPA10 que reducen las emisiones contaminantes.	
Batería	Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.	Se requiere inversión en infraestructura.
	Reduce la contaminación del aire local (sin emisiones de escape).	Mayor costo del vehículo que el diésel.
	Menores costes de repostaje y mantenimiento que los vehículos ICE.	Largo tiempo de recarga.
	Mayor eficiencia energética que ICE.	Rango limitado.
	Se requiere menos inversión en infraestructura que FCEV.	Peso y tamaño de carga limitados debido a la gran batería.
Celda de combustible	Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.	Alto costo inicial del combustible de hidrógeno.
	Reduce la contaminación del aire local (sin emisiones de escape).	Se requiere un gran desarrollo de infraestructura.
	Mayor eficiencia energética que ICE.	Mayor costo del vehículo en comparación con el diésel o la batería.
	Tiempo de reabastecimiento de combustible más rápido que los BEV.	
	Alta energía específica.	Desarrollo lento de FCEV.

6.5 Comparativa de emisiones de CO₂ de camiones diésel vs eléctricos: escenario nacional

Pese a que los camiones de carga eléctricos no emiten gases contaminantes durante su operación, la energía eléctrica que se utiliza para su recarga puede provenir de fuentes emisoras de GEI, las cuales están en función de la matriz energética del servicio eléctrico con el cual se recarga.

En México, según datos de la SEMARNAT, el factor de emisión del sistema eléctrico nacional para el año 2022 fue de 0.435 tCO₂e/MWh [55]. En promedio, un camión de carga diésel en México emite 0.909 kg de CO₂e por kilómetro recorrido [56], mientras que un camión eléctrico de clase 8 puede llegar a consumir 1.1 kWh por kilómetro recorrido, considerando lo reportado por Tesla y Volvo [57].

En la Tabla 23 se muestran las emisiones generadas por ambas tecnologías considerando los factores antes mencionados para recorridos de 100 km de distancia.

Tabla 23. Emisiones de GEI por 100 km recorridos.

	Diésel	Eléctrico
Consumo eléctrico por cada 100 km	0	110 kWh
Emisiones de CO ₂ e de fuente primaria por cada 100 km*	90.9 kg	47.85 kg

Es de recalcar que el transitar hacia un sector transporte de carga cero emisiones conlleva que la energía eléctrica que se utiliza para recargar las baterías sea generada con energías limpias y/o energías renovables.

Con el factor de emisiones del sistema eléctrico nacional, por cada 100 km recorridos por un camión de carga eléctrico, que utilice energía eléctrica del sistema eléctrico, se estarían emitiendo 47.85 kg de CO₂e, lo cual representa una reducción del 47% en comparación de recorrer la misma distancia, pero con un camión diésel, el cual emitiría en promedio 90.9 kg de CO₂e.

La matriz energética actual provocaría que, al cambiar los camiones de carga diésel por camiones eléctricos, la reducción de emisiones de GEI de este sector sean menos de la mitad de las que actualmente se generan con camiones diésel.

Lo mismo pasaría con el cambio a camiones de hidrógeno, si este se produce con combustibles fósiles incluso la generación de GEI pudiera ser mayor que la de camiones de diésel. Por lo anterior, es de suma importancia que la matriz energética del país o la fuente de energía de recarga de los camiones eléctricos o de hidrógeno sea predominantemente de fuentes renovables de energía, de lo contrario las expectativas de reducción de GEI podrían no ser las esperadas, ya que se trasladaría más de la mitad de las emisiones de este sector a las centrales de generación eléctrica basadas en combustibles fósiles.

Aunado a la anterior, se requiere que con el tiempo la tecnología de camiones cero emisiones mejore y sea más eficiente. El rendimiento de 1.1 kWh por kilómetro recorrido solamente lo presentan los modelos recientes de Tesla y Volvo, bajo ciertas consideraciones operativas especiales [57]. Sin embargo, el rendimiento de los camiones eléctricos comercialmente disponibles desde hace un par de años, presentan valores de 1.64 kWh por kilómetro recorrido [58], un 33% más de energía eléctrica requerida por kilómetro que en el caso de Tesla y Volvo.

Considerando lo anterior, y haciendo la comparativa de emisiones con la información de la Tabla 23 se alcanza una reducción del 22% de las emisiones de CO₂e con la tecnología de camiones eléctricos comercialmente disponible y con la matriz energética actual de México.

Lo anterior es una oportunidad para impulsar el desarrollo tecnológico y la generación de energía eléctrica con fuentes renovables o energías más limpias, para la descarbonización simultánea del sector transporte y el eléctrico.

En colaboración con:

6.6 Oferta de unidades cero emisiones de México (producción, importación, exportación y ventas)

En el contexto del análisis de la industria de transporte de carga nacional, se examinan la producción, importaciones, exportación y ventas de camiones de carga eléctricos, híbridos y de hidrógeno de vehículos pesados. Esta información no solo ofrece una visión integral del mercado nacional, sino que también proporciona valiosas perspectivas sobre la adopción de tecnologías más ecológicas.

Los datos aquí presentados se enfocan en la producción de vehículos pesados por año y fuente de energía. Este desglose permite entender la dinámica del mercado, especialmente en términos de camiones eléctricos e híbridos, tecnologías que están ganando cada vez más relevancia en la industria del transporte.

En la Figura 21 se muestra la cantidad de ventas de camiones de carga eléctricos e híbridos, así como la producción en el país de estos mismos, desde el año 2018 hasta noviembre del 2023.

Sin considerar a los camiones de carga diésel, gasolina y gas natural, hasta el 2021 solo se habían vendido camiones de carga híbridos de la marca Hino en México. Hasta la fecha se han vendido 1,588 unidades de carga híbridas, con incrementos notorios año con año a excepción del 2021, periodo en el que la pandemia COVID-19 disminuyó la importación de estos camiones, impactando en sus ventas.

A partir del 2022 se inició la venta de camiones de carga eléctricos de las marcas Volkswagen y Scania, los cuales eran importados. A noviembre del 2023 se tienen ventas acumuladas de 20 camiones de carga eléctricos. Sin embargo, al considerar las ventas de camiones eléctricos e híbridos en comparación de las ventas de camiones de carga diésel, estas representan apenas poco más del 1.3% de las ventas de camiones de carga en México en el año 2023.

Figura 21. Ventas y producción de camiones de carga eléctricos e híbridos en México en el periodo de 2018 a 2023. *El año 2023 considera información hasta el mes de noviembre. Fuente: elaboración propia con información de INEGI [59].

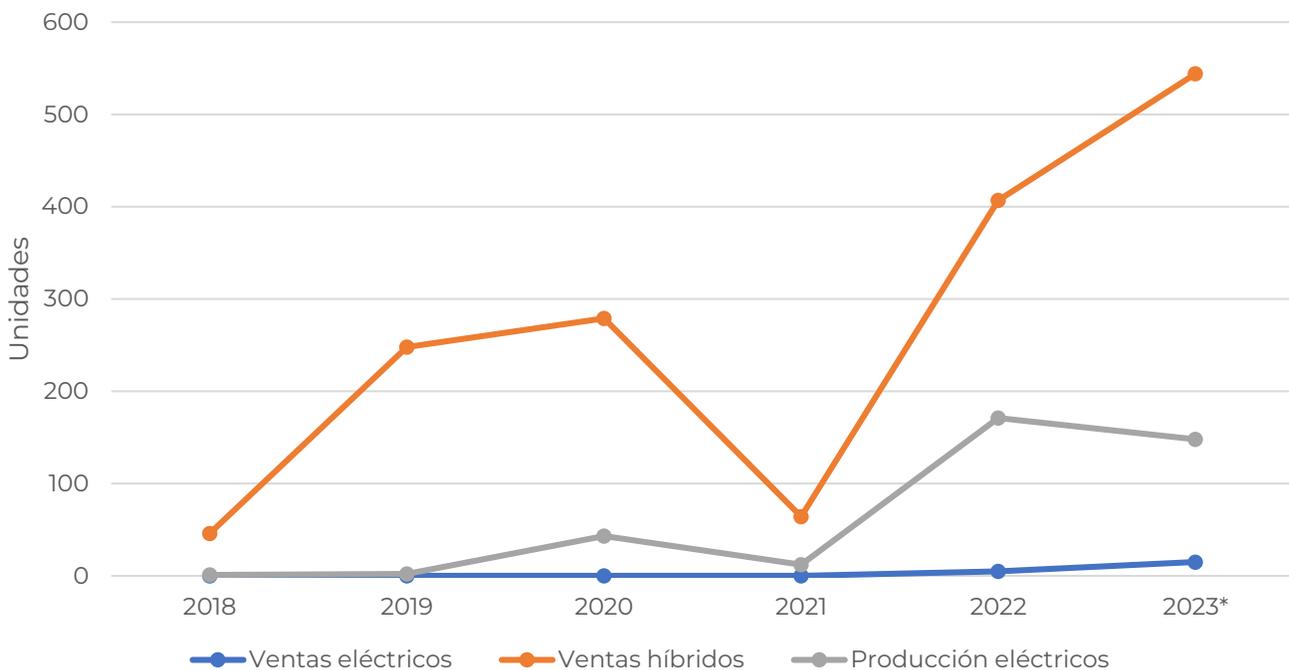
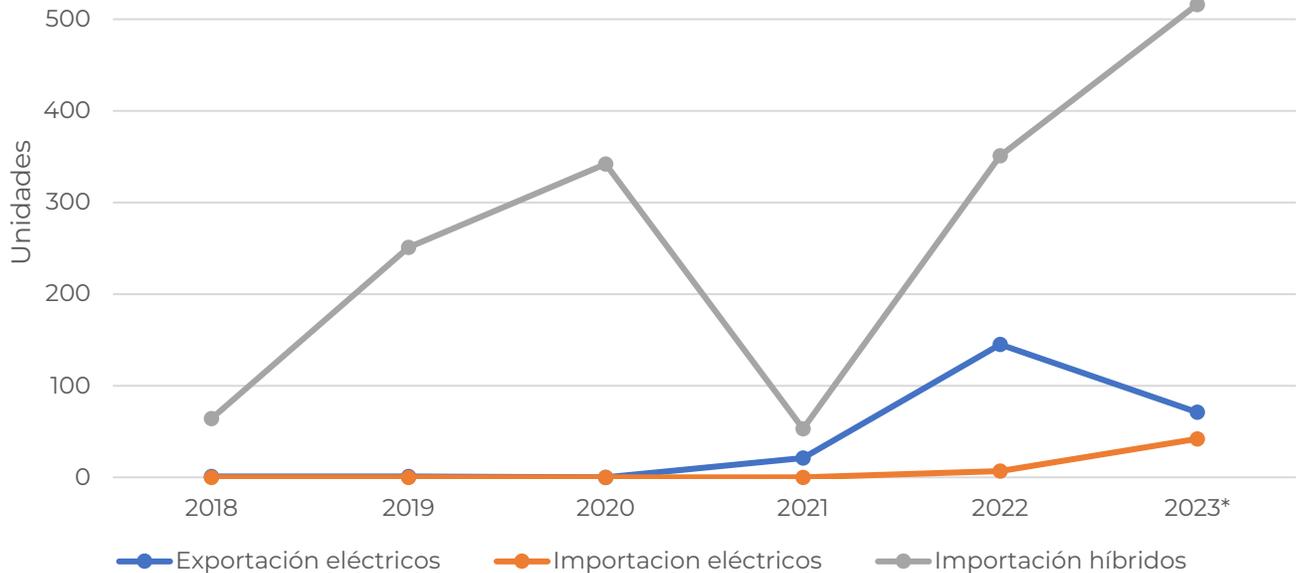


Figura 22. Exportación e importación de camiones de carga eléctricos e híbridos en México (2018-2023*). Fuente: Elaboración propia con base en el informe Importación y Exportación de vehículos pesados [8] y el Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Pesados (RAIAVP, 2023). * Las cifras son hasta noviembre de 2023.



Otro punto por resaltar es que la venta de camiones eléctricos contrasta con el número de unidades producidas en México, ya que, desde el 2018, se han producido 377 camiones de carga eléctricos de las marcas Kenworth, International y Dina, pero todos estos se han exportado a Estados Unidos y Canadá.

Cabe mencionar que empresas como Kenworth y BYD, por mencionar algunas, ya anunciaron el inicio de ventas de sus modelos eléctricos en el país. Así también, no se tiene registro de producción de camiones híbridos en el país. Tampoco se han presentado ventas ni producción de camiones de carga de hidrógeno.

En la Tabla 24 se presentan las marcas de los camiones de carga eléctricos producidos en México desde el 2018. Se puede apreciar que las marcas de camiones producidos en el país no los venden dentro del mismo, mientras que las ventas que sí se realizan en México son de camiones importados.

Tabla 24. Marcas y cantidad de camiones eléctricos producidos en México desde el 2018. *Datos a noviembre del 2023. Fuente: elaboración propia con información de INEGI [59].

Año	Kenworth	Dina	International
2018	1	-	-
2019	1	1	-
2020	8	35	-
2021	12	-	-
2022	66	2	105
2023*	103	-	45

Para el contexto nacional de exportación e importación, en la Figura 22 se aprecian las cantidades de camiones de carga eléctricos e híbridos exportados e importados desde el 2018 a noviembre del 2023.

Como se mencionaba anteriormente que los camiones de carga híbridos son los que más se venden en el país en comparación con los eléctricos, la misma tendencia de ventas se tiene con las importaciones. Debido a que no se producen este tipo de camiones de carga en el país, se importan en su totalidad de la marca Hino desde Japón.

Así también se puede apreciar una tendencia al incremento en el número de unidades híbridas importadas año tras año, a excepción del 2021 cuando se presentó una considerable reducción debido a la pandemia COVID-19.

No se tiene exportaciones de camiones híbridos desde nuestro país. Por su parte, la exportación de camiones de carga eléctricos inició en el 2018 con una unidad de la marca Kenworth, y ha incrementado considerablemente hasta el año 2021, con 21 unidades eléctricas de la misma marca.

En el año 2022 tanto Kenworth como International y Dina exportaron a Estados Unidos y Canadá 145 camiones de carga eléctricos en conjunto, y hasta noviembre del

2023 se tienen registradas 71 exportaciones de las mismas marcas.

Las importaciones iniciaron en el año 2022 con 7 unidades eléctricas de las marcas Volkswagen y Scania y, hasta noviembre del 2023, se tiene un acumulado de 49 importaciones de camiones de carga eléctricos hacia México.



7. Perspectivas de las empresas operadoras de transporte de Baja California respecto a las políticas de transición de California

Dada la naturaleza de las actividades económicas de la región, existe una sinergia entre Baja California y Estados Unidos, donde modificaciones a las normativas aplicables tiene efectos prácticos en ambos territorios.

Uno de los sectores económicos más representativos de esta correlación es el transporte de carga debido al flujo continuo de viajes transfronterizos. Por tanto, es necesario cierto grado de coordinación entre la normatividad de ambas regiones. No obstante, la diferencia entre los contextos nacionales y extranjeros puede dificultar el proceso de actualización de la normatividad en México.

En este sentido se realizó una encuesta exploratoria dirigida a directivos, socios y personal administrativo de las organizaciones operadoras de flotillas de transporte de carga de Baja California. El propósito fue el de comprender su perspectiva con respecto a las políticas actuales de transición hacia la movilidad cero emisiones en California, Estados Unidos.

Asimismo, la encuesta busca caracterizar el perfil actual y proyectado a futuro de dichas organizaciones, las características de sus flotillas, y evaluar el grado de conocimiento de las organizaciones respecto a los posibles impactos de la normatividad vigente en California, con relación a los viajes transfronterizos.

7.1 Nota metodológica

El diseño del instrumento de investigación se completó en cuatro fases:

1. La investigación inició con la caracterización del perfil de las organizaciones a las que estaría dirigida la encuesta en función de los lineamientos para la transición a la movilidad cero emisiones del transporte de carga en California, Estados Unidos, y la clasificación vehicular de los vehículos de carga media y pasada en México.

En esta fase se definió que la organización debía de contar con flotillas de vehículos de carga de las clasificaciones: Camión unitario (C), Camión-remolque (C-R), Tractocamión articulado (T-S) y/o Tractocamión semirremolque-remolque (T-S-R y T-S-S).

2. Como siguiente fase, se desarrolló el borrador del instrumento de investigación basándose en la revisión de encuestas dirigidas al sector transporte de carga realizadas en California, enfatizando aquellas dirigidas a la transición a la movilidad cero emisiones [60,61] así como encuestas del sector transporte realizadas en México [62,63].

El borrador consistió en 36 reactivos distribuidos en 3 secciones: preguntas demográficas sobre la organización, preguntas sobre la flotilla de vehículos de la organización y preguntas sobre las decisiones de compra relativas a la flotilla de vehículos.

3. Posteriormente, siguiendo con el proceso de diseño del instrumento de investigación, se realizó un análisis de forma y fondo de cada uno de los reactivos.

Además, se llevó a cabo la validación de la funcionalidad y comprensión del instrumento con una organización operadora de camiones de carga

transfronterizos, que requiere estar en cumplimiento con las regulaciones de California.

- Finalmente, se aplicó el instrumento digital a través del software de administración de encuestas Formularios de Google disponible en el siguiente enlace:
<https://forms.gle/Lr2apeh3mWGuVbdv5>

Este instrumento incluyó secuencias lógicas para eficientizar el tiempo de respuesta de la encuesta en función del perfil descrito por cada una de las organizaciones y las características de sus flotillas de vehículos de carga.

El instrumento de investigación fue distribuido por medios digitales de manera no probabilística a directivos, socios y personal administrativo de organizaciones operadoras de flotillas de transporte de carga en los diferentes municipios de Baja California según el perfil definido en la fase 1 de diseño del instrumento.

Adicionalmente a la convocatoria directa a las empresas para responder tanto de parte de los investigadores, como de CANACAR y la Secretaría de Economía e Innovación del Estado, se realizaron foros y reuniones con representantes de organizaciones transportistas en el estado y cámaras empresariales del sector transporte, con el fin de exponer el instrumento e invitarlos a participar en su llenado.

7.2 Resultados de la investigación

Se obtuvo un conjunto de datos finales de 15 organizaciones (empresas) transportistas, muestra resultante posterior a la exclusión de respuestas duplicadas por organización o aquellas que no proporcionaran datos representativos.

7.2.1 Perfil de las organizaciones

Los resultados de la encuesta reportaron la siguiente distribución geográfica de las oficinas sede de las empresas operadoras de transporte de carga en la muestra:

- 60.0 % se ubican en Mexicali.
- 26.6% se ubican en Tijuana.
- 6.7% se ubican en Tecate.
- 6.7% se ubican en Ensenada.

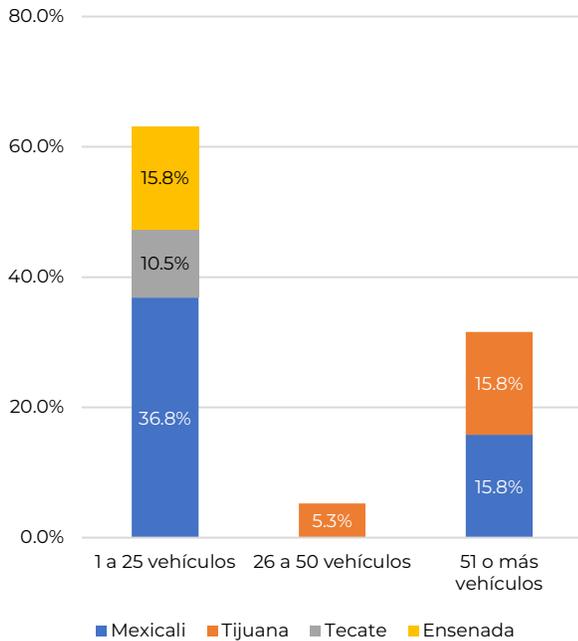
Considerando lo anterior, se muestra la distribución geográfica de ubicaciones de estas entidades operadoras de vehículos de transporte de carga en la Figura 23.

Se identifica que el 26.7% de las organizaciones respondientes cuenta con sucursales con vehículos de carga en más de un municipio donde:

- 13.3% de las organizaciones tiene presencia en Mexicali y Ensenada
- 6.7% de las organizaciones tiene presencia en Mexicali y Tijuana
- 6.7% de las organizaciones tiene presencia en Tijuana, Tecate y Ensenada.

Por otro lado, el 93.3% de las organizaciones indicó que cuenta con instalaciones de almacenamiento vehicular en su ubicación principal, mientras el 6.7% cuenta con este tipo de instalaciones en una propiedad de la compañía distinta a la ubicación de sus oficinas.

Figura 24. Distribución de las flotillas por cantidad de vehículos y municipio. Fuente: Elaboración propia.



Respecto a la distribución de frecuencia de la clasificación vehicular en posesión reportada por las organizaciones, el primer hallazgo reveló la cantidad de clasificaciones vehiculares en posesión por cada organización donde:

- 26.6% de las organizaciones solo cuentan con una clasificación vehicular: Tractocamión articulado (T-S).
- 60.0% de las organizaciones cuentan con dos clasificaciones vehiculares, dividiéndose en los siguientes arreglos:
 - 66.7% cuenta con Camión unitario (C) y Tractocamión articulado (T-S).
 - 22.2% Tractocamión articulado (T-S) y Tractocamión semirremolque-remolque (T-S-R y T-S-S).
 - 11.1% Camión unitario (C) y otro tipo de vehículo (Van o furgonetas).

- 6.7% de las organizaciones cuentan con tres clasificaciones vehiculares: Camión unitario (C), Tractocamión articulado (T-S) y otro tipo de vehículo (Van).
- 6.7% de las organizaciones cuentan con cuatro clasificaciones vehiculares: Camión unitario (C), Camión-remolque (C-R), Tractocamión articulado (T-S), Tractocamión semirremolque-remolque (T-S-R y T-S-S).

Considerando que el 73.4% de las organizaciones cuenta con dos o más clasificaciones vehiculares, la distribución general de las clasificaciones vehiculares a lo largo de las organizaciones encuestadas arroja los siguientes resultados: 60.0% de las organizaciones cuenta con camiones unitarios (C), 6.7% cuenta con camiones-remolque (C-R), 93.3% cuenta con tractocamiones articulados (T-S), 20.0% cuenta con tractocamiones semirremolque-remolque (T-S-R y T-S-S) y solo el 13.3% cuenta con otro tipo de vehículos identificados como van o furgonetas.

Tabla 25. Distribución de las configuraciones vehiculares de las organizaciones encuestadas.

Clasificación	Configuración	Frecuencia (%)
Camión unitario	C2	10.30%
	C3	25.59%
Camión-remolque	C2-R3	1.02%
Tractocamión articulado	T2-S1	0.20%
	T2-S2	5.61%
	T2-S3	7.85%
	T3-S2	43.93%
Tractocamión semirremolque-remolque	T3-S2-R4	4.08%
	T3-S2-S2	1.02%
Otro (Van)	Van	0.40%
Total		100%

De manera específica, se analizó la cantidad de vehículos por cada configuración vehicular en posesión de las organizaciones encuestadas a fin de ponderar la frecuencia de cada una en proporción a la cantidad total de vehículos reportadas en Baja California (ver tabla 24), donde se observa que la configuración

vehicular más frecuente es la T3-S2 con un 43.93%, seguida por la configuración C3 con el 25.59%.

Viajes transfronterizos

Con el objetivo de evaluar la perspectiva de las empresas operadoras en Baja California sobre los lineamientos de la movilidad cero emisiones del transporte de carga en California, EU, se caracterizó el perfil de viajes transfronterizos realizados por las organizaciones.

Los resultados revelan los siguientes aspectos:

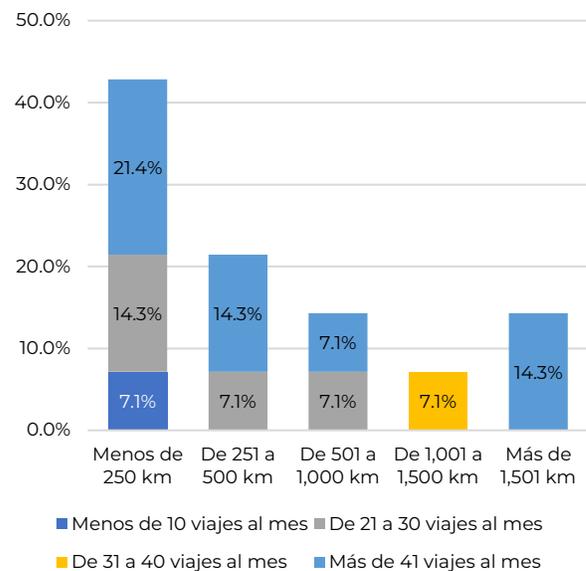
- El 93.3% de las organizaciones encuestadas realiza actualmente viajes transfronterizos mientras que el 6.7% restante planea realizar este tipo de viajes en los próximos cinco años.
- Entre las organizaciones que actualmente realizan viajes transfronterizos, la frecuencia mensual se distribuye de la siguiente forma:
 - 7.1% de las organizaciones realiza menos de 10 viajes mensuales
 - 28.6% realiza de 21 a 30 a viajes mensuales.
 - 7.1% realiza de 31 a 40 viajes mensuales.
 - 57.2% realiza más de 41 viajes mensuales.
- La distancia recorrida por viaje de distribuye de la siguiente manera:
 - 42.9% recorre menos de 250 km por viaje.
 - 21.4% recorre de 251 a 500 km por viaje.
 - 14.3% recorre de 501 a 1,000 km por viaje.

- 7.1% recorre de 1,001 a 1,500 km por viaje.
- 14.3% recorre más de 1,501 km por viaje.

Contrastando la frecuencia y la distancia realizada por viaje transfronterizo, se observa una tendencia general hacia la realización de viajes cortos, especialmente a distancias menores de 250 km, según el 42.8% de las organizaciones encuestadas.

Además, se destaca que el 21.4% de las organizaciones que realizan viajes con mayor frecuencia (31 viajes mensuales o más) tienden a cubrir distancias superiores a 1,000 km (Ver Figura 25).

Figura 25. Distancia recorrida promedio por viaje transfronterizo. Fuente: Elaboración propia.



Consumo y reabastecimiento de combustible

Se evaluó el tipo de combustible utilizado por los vehículos de carga de cada una de las organizaciones. Los resultados indican que actualmente las organizaciones encuestadas solo utilizan vehículos de carga de diésel o gasolina.

La distribución de combustible utilizado por clasificación vehicular en Baja California se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26. Distribución del combustible utilizado actualmente por clasificación vehicular.

Clasificación	Tipo de combustible	
	Gasolina	Diésel
Camión unitario	10%	90%
Camión-remolque	-	100%
Tractocamión articulado	-	100%
Tractocamión semirremolque-remolque	-	100%
Otro (Van)	100%	-

Fuente: Elaboración propia.

Se analizó también la proporción de empresas que cuenta con infraestructura de reabastecimiento de combustible exclusiva en sus instalaciones de almacenamiento vehicular revelando lo siguiente:

- Sólo el 33.3% de las organizaciones actualmente cuenta con instalaciones de reabastecimiento de combustible, donde el 100% son de diésel. Entre este grupo de organizaciones:
 - 60.0% busca ampliar sus instalaciones de reabastecimiento de diésel.
 - 20.0% busca ampliar sus instalaciones de reabastecimiento de diésel y evalúa la posibilidad de integrar otro tipo de infraestructura: estaciones de carga

eléctrica rápida flex (150-350 kW) o reabastecimiento de hidrógeno.

- 20.0% no está seguro de ampliar sus instalaciones de reabastecimiento debido al espacio limitado en el sitio de almacenamiento vehicular.
- Por otro lado, 66.7% de las organizaciones actualmente no cuenta con instalaciones de reabastecimiento de combustible. Entre este grupo de organizaciones:
 - 20.0% evalúa la posibilidad de implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de diésel con el fin de contar con un mayor control del combustible y generar ahorros económicos.
 - 10.0 % evalúa la posibilidad de implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de diésel o estaciones de carga eléctrica ultra rápida (750 kW – 3MW) para aprovechar la disponibilidad de espacio en el sitio de almacenamiento vehicular.
 - 30.0% de las organizaciones no busca implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de combustible debido a la falta de espacio.
 - 10.0% de las organizaciones no busca implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de combustible debido a que considera que su consumo de combustible es muy bajo.
 - 10.0% de las organizaciones no busca implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de combustible debido a cuestiones de seguridad.
 - 10.0% de las organizaciones no están seguras de su capacidad de implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de combustible

En colaboración con:

debido a la elevada inversión que esto representa.

- 10.0% de las organizaciones no están seguras de su capacidad de implementar su propia infraestructura de reabastecimiento de combustible debido al desconocimiento de los permisos necesarios.

7.2.4 Tendencia en las próximas decisiones de compra de vehículos de carga

Para analizar la tendencia de las próximas decisiones de compra de vehículos de carga en Baja California se evaluó el tipo de adquisiciones que las empresas consideraban más probable realizar dentro de los siguientes 5 años. Los resultados indicaron que:

- 60% de las organizaciones considera que es probable que su próxima adquisición de vehículos de carga sea para reemplazar uno o más vehículos de su flotilla actual.
- 33.3% de las organizaciones considera que es probable que su próxima adquisición de vehículos de carga sea una adición a su flotilla actual.
- 6.7% de las organizaciones considera poco probable adquirir nuevos vehículos en el periodo evaluado, pero plantean la posibilidad de reevaluar su decisión dentro de tres a cinco años.

Asimismo, se caracterizó el porcentaje de organizaciones que estarían dispuestas a adquirir vehículos de carga por configuración y tipo de combustible (ver Tabla 26).

Entre los hallazgos más relevantes, por clasificación vehicular, se encuentran los siguientes porcentajes en proporción al total de organizaciones encuestadas:

- Camión unitario (C): 26.7% de las organizaciones están interesadas en adquirir camiones unitarios, donde:
 - 27.3% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de diésel.
 - 18.2% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de gasolina.
 - 9.1% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos eléctricos, de turbosina o gas-avión, gas, hidrógeno u otro tipo de combustible.
- Camión-remolque (C-R): 26.7% de las organizaciones están interesadas en adquirir camiones remolque, donde:
 - 21.4% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de diésel.
 - 14.3% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos eléctricos, de turbosina o gas-avión, gas, hidrógeno u otro tipo de combustible.
 - 7.1% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de gasolina.
- Tractocamión articulado (T-S): 60.0% de las organizaciones están interesadas en adquirir tractocamiones articulados, donde:
 - 25.0% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de diésel.
 - 15.0% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos eléctricos, gas o de turbosina o gas-avión.

En colaboración con:

- o 10.0% de las organizaciones están dispuestas a adquirir vehículos de gasolina, hidrógeno u otro tipo de combustible.

Tabla 27. Proporción de vehículos tipo de combustible considerados para ser adquiridos.

Tipo de combustible	Clasificación vehicular		
	Camión unitario (C)	Camión-remolque (C-R)	Tractocamión articulado (T-S)
Gasolina	18.2%	7.1%	10.0%
Diésel	27.3%	21.4%	25.0%
Eléctrico	9.1%	14.3%	15.0%
Turbosina o Gasavión	9.1%	14.3%	15.0%
Gas	18.2%	14.3%	15.0%
Hidrógeno	9.1%	14.3%	10.0%
Otro	9.1%	14.3%	10.0%
	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Perspectiva de las organizaciones sobre la transición a la movilidad cero emisiones

El instrumento de investigación se utilizó también para evaluar el grado de conocimiento que las organizaciones transportistas de Baja California tienen sobre los lineamientos e incentivos para la transición a la movilidad cero emisiones en California, así como su impacto en los viajes transfronterizos y la capacidad auto percibida para cumplir con la normatividad propuesta.

Normatividad

El primer hallazgo reveló que el 73.3% de las empresas conocía sobre la transición a la movilidad cero emisiones en California. De estas organizaciones:

- 45.5% de las organizaciones estaban familiarizadas solo con el lineamiento *Advanced Clean Trucks*.
- 18.2% de las organizaciones estaban familiarizadas solo con el lineamiento *Advanced Clean Fleets*.
- 36.3% de las organizaciones estaban familiarizadas con ambos lineamientos.

Dentro de este mismo grupo de empresas, se evaluó si consideraban apegarse a las regulaciones de transición hacia la movilidad cero emisiones del transporte de carga en California en la próxima decisión de compra o arrendamiento de vehículos (*leasing*).

Los resultados mostraron que el 81.8% de las empresas expresan apoyo a esta medida, destacando una clara predisposición hacia la adopción de vehículos ZEV y NZEV. En contraste, el 18.2% restante manifestó no estar seguros de considerar este hecho en su próxima decisión de compra o arrendamiento de vehículos de carga.

Para evaluar la capacidad auto percibida para apegarse a los lineamientos de California, se les pidió a las organizaciones calificarse en una escala del 1 (baja capacidad de cumplimiento) al 5 (alta capacidad de cumplimiento).

En el caso del lineamiento *Advanced Clean Fleets*, bajo la modalidad *Model Year Schedule*, la primera alternativa para las flotas de alta prioridad o federales [64], las organizaciones arrojaron los siguientes resultados promedio:

1. Las organizaciones califican con 1.61 (en el extremo de baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para comprar únicamente vehículos de carga de cero emisiones (Vehículos que producen cero emisiones en el tubo de escape, incluidos los vehículos eléctricos de batería y los de celdas de combustible de hidrógeno) a partir de 2024.
2. Las organizaciones califican con 1.85 (en el extremo de baja capacidad de

En colaboración con:

cumplimiento) su capacidad para retirar vehículos de carga con motor de combustión interna al final de su vida útil (18 años u 800,000 millas, o un mínimo de 13 años si el camión tiene más de 800,000 millas) a partir de 2025.

Figura 26. Calificación promedio de la capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad Model Year Schedule. Fuente: elaboración propia.

Advanced Clean Fleets Model Year Schedule

A partir de 2024, comprar únicamente vehículos de carga cero emisiones.



A partir de 2025, retirar vehículos de carga con motor de combustión interna al final de su vida útil.



Por otro lado, en el lineamiento *Advanced Clean Fleets* bajo la modalidad *ZEV Milestones Option*, la segunda modalidad para las flotas de alta prioridad o federales [64], las respuestas de las empresas arrojaron los siguientes resultados promedios:

1. Grupo 1. Camiones de caja, furgonetas, autobuses de doble eje, tractores de patio, vehículos ligeros de reparto de paquetes.
 - a. Las organizaciones califican con 1.88 (en el extremo de baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 10% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2025.
 - b. Las organizaciones califican con 2.11 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 50% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2031.
 - c. Las organizaciones califican con 2.11 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 100% de

vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2035.

2. Grupo 2. Camiones de trabajo, tractores de cabina diurna, autobuses de tres ejes.
 - a. Las organizaciones califican con 2.22 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 10% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2027.
 - b. Las organizaciones califican con 2.22 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 50% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2033.
 - c. Las organizaciones califican con 2.22 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 100% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2039.
3. Grupo 3. Tractores con cabina para dormir y vehículos especiales
 - a. Las organizaciones califican con 2.54 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 10% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2030.
 - b. Las organizaciones califican con 2.54 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 50% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2036.
 - c. En promedio, las organizaciones califican con 2.36 (baja capacidad de cumplimiento) su capacidad para que el 100% de vehículos de la flotilla sean cero emisiones a partir de 2042.

En colaboración con:

Figura 27. Calificación promedio de la capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad ZEV Milestones Option por grupos. Fuente: elaboración propia.



En consulta con las empresas participantes acerca de la pertinencia de implementar regulaciones en Baja California, para promover la transición hacia la movilidad eléctrica cero emisiones del transporte de carga en alineación a las vigentes en California, el 53.3% de las organizaciones votaron a favor de esta posibilidad, donde las razones mencionadas fueron el beneficio ambiental gracias a la reducción de contaminantes, la generación de ahorros económicos y la dinámica de los viajes transfronterizos entre Baja California y Estados Unidos, sin embargo las precisiones de tiempo para realizarlo no tienen un consenso.

Por otro lado, el 46.7% de las organizaciones votaron en contra de una lineación normativa, donde las principales razones para rechazar las implementaciones de transición en Baja California fueron en orden descendente: el limitado poder adquisitivo de las organizaciones nacionales en comparación a las organizaciones norteamericanas, la falta de cadenas de suministros necesarias, la diferencia entre los incentivos nacionales con respecto a los extranjeros y la incompatibilidad entre tarifas de ambas entidades.

Incentivos

Con respecto a los incentivos vigentes en California, sólo el 40.0% de las organizaciones

afirmó tener conocimiento de al menos uno de ellos.

Entre los incentivos vigentes en California, las organizaciones encuestadas mencionaron conocer los siguientes:

- **Carl Moyer Program for On-Road Heavy Duty Vehicles Voucher Incentive Program:** programa de financiación para el reemplazo de vehículos pesados de diésel o de combustible alternativo dirigido a propietarios de flotillas con 10 o menos vehículos que hayan estado en operación durante seis o más años [65].
- **Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project (HVIP):** programa financiado por el estado que proporciona cupones para ayudar a las empresas y organizaciones a comprar camiones y autobuses cero emisiones, híbridos y de bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) [66].
- **Truck Loan Assistance Program:** programa estatal que ofrece préstamos a empresas y organizaciones para comprar camiones eléctricos y de cero emisiones. El programa es administrado por la CARB y está financiado por el programa *California Climate Investments* [67].
- **Cal Fleet Advisor:** programa gratuito de asistencia técnica para flotas de camiones medianos y pesados en California dedicado a navegar por las opciones de vehículos de cero emisiones, la infraestructura de carga, los incentivos, el ahorro de combustible, las referencias de la industria, entre otros [68].
- **EnergIZE Commercial Vehicles:** proyecto de incentivos de infraestructura de vehículos de cero emisiones (ZEV) para vehículos eléctricos de batería y de pila de combustible de hidrógeno de servicio mediano y pesado operados y domiciliados en California [69].

En colaboración con:

De manera similar, se evaluó el grado de contribución percibido de diferentes incentivos para la adquisición de vehículos de carga de manera asequible y accesible utilizando una escala del 1 (baja contribución) al 5 (alta contribución).

Los resultados promedios se resumen en la siguiente tabla donde se distingue que los incentivos con mayor contribución percibida son las subvenciones monetarias, la entrega de cupones para la compra de vehículos y descuentos de compra de vehículos ZEV.

Tabla 28. Contribución percibida por distintos esquemas de incentivos.

Incentivo	Contribución, promedio
Subvenciones monetarias	3.6
Entrega de cupones para la compra de vehículos	3.5
Descuentos de compra	3.3
Bonos para el equipamiento de la infraestructura necesaria	3.2
Acceso a carriles exclusivos	3.2
Exenciones de peaje	3.0
Préstamos	2.6

Fuente: Elaboración propia.

Las empresas participantes expresaron que la disponibilidad de incentivos nacionales para la transición, equivalentes a los de California resultarían de alto impacto para:

- Solventar la brecha entre el costo de los nuevos equipos y las unidades diésel.
- Impulsar la participación del sector transportista en la transición a la movilidad eléctrica cero emisiones.
- Facilitar el cumplimiento de la normativa aplicable.
- Incrementar el uso de energías renovables.

Respecto a la fuente recomendable para la provisión de incentivos se expresa una

combinación de fuentes de gobierno (México y Estados Unidos), financiamiento bancario y directamente de los proveedores o fabricantes de vehículos.

7.2.6 Impacto percibido a las nuevas regulaciones en California

En conformidad al marco normativo vigente en California para reducir las emisiones contaminantes que provoca el sector transporte, en particular, la regulación *Advanced Clean Fleets*, se clasifican las flotillas de acarreo sujetas a estas normativas.

Estas incluyen las flotillas propiedad de agencias estatales, locales y del gobierno federal, y las flotillas de alta prioridad, donde las últimas corresponden a aquellas organizaciones que operan o dirigen al menos un vehículo en California, y que tienen \$50 millones de dolares o más en ingresos brutos anuales o bien que poseen, operan o tienen la propiedad común o el control de un total de 50 o más vehículos, excluyendo vehículos ligeros de reparto de paquetes [64].

Considerando que el 93.3% de las empresas encuestadas realiza viajes transfronterizos a California y que el 6.7% restante planea realizar este tipo de rutas en los próximos cinco años, se determinó la proporción de organizaciones sujetas a la normatividad de California contrastando los ingresos brutos equivalentes de 2022 y la cantidad de vehículos en posesión reportada.

Se estimó que del total de organizaciones encuestadas solo el 40.0% entra en la categoría de flotillas de alta prioridad debido a poseen 50 o más vehículos de carga. Cabe destacar que ninguna de las organizaciones participantes superó los ingresos brutos anuales necesarios para entrar en la clasificación de flotillas de alta prioridad independientemente de la cantidad de vehículos.

Estos resultados reflejan que, a pesar de la ausencia de lineamientos equivalentes para la

transición a la movilidad cero emisiones en Baja California, por lo menos una fracción de las organizaciones mexicanas experimentará un impacto significativo debido a sus operaciones comerciales con Estados Unidos.

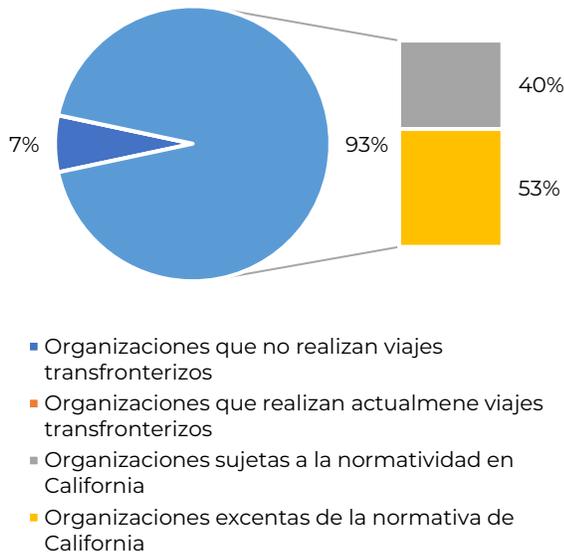


Figura 28. Clasificación de las organizaciones encuestadas. Fuente: Elaboración propia.

Las empresas encuestadas que forman parte de las flotillas de alta prioridad están conscientes de la regulación *Advanced Clean Fleets* y buscan cumplir a sus requisitos, siendo el principal grupo focal por atender para evitar efectos adversos en su competitividad y participación de mercado. Sin embargo, al evaluar su capacidad auto percibida para lograrlo se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Bajo la modalidad *Model Year Schedule*, el 60.0% las organizaciones consideran que posee una capacidad intermedia (calificación de 3) para adquirir únicamente vehículos de carga cero emisiones a partir de 2024 y retirar sus vehículos de carga con motor de combustión interna al final de su vida útil a partir de 2025, mientras que el 40% se califica con una mínima capacidad para cumplir ambas metas (calificación de 1).

2. Bajo la modalidad *ZEV Milestones Option*, el 20.0% considera que tiene una alta capacidad (calificación de 5) para cumplir con los objetivos de porcentaje creciente de vehículos de carga cero emisiones por grupos y año, mientras que el 45.0% se califica con una capacidad media (calificación de 3), y 35.0% con una baja capacidad (calificación de 2) para cumplir con para cumplir los hitos de esta modalidad.

El 100% de las empresas que forman parte de las flotillas de alta prioridad consideraron adecuado eventualmente implementar este tipo de regulaciones en Baja California.

En contraste, únicamente el 55.5% de las organizaciones mexicanas que no califican dentro de las flotillas de alta prioridad expresaron conocer la transición hacia la movilidad eléctrica cero emisiones.

Tras una breve presentación de las dos modalidades de la regulación *Advanced Clean Fleets*, el resto de las organizaciones evaluaron su capacidad auto percibida para cumplir con las metas de vehículos de carga cero emisiones, llegando a la conclusión de que no poseen las herramientas ni recursos necesarios para alcanzar estos objetivos bajo ambas modalidades.

Como resultado, este rubro de las empresas encuestadas no considera adecuado implementar en el corto y/o mediano plazo regulaciones para la transición hacia la movilidad eléctrica cero emisiones del transporte de carga apegadas a las existentes en California.

En términos generales, tanto las empresas clasificadas como flotillas de alta prioridad como aquellas exentas, coinciden en que tienen una capacidad limitada para cumplir con la normatividad establecida en California (Ver figura 30).

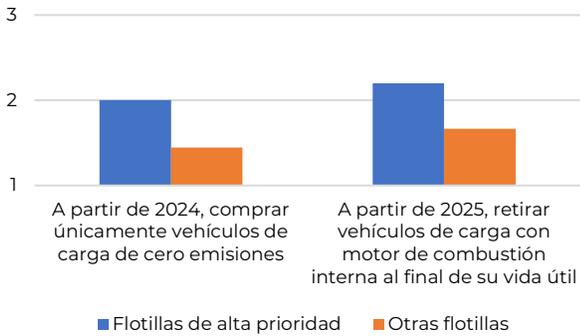


Figura 29. Capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad Model Year Schedule por categorías de las flotillas. Fuente: elaboración propia.

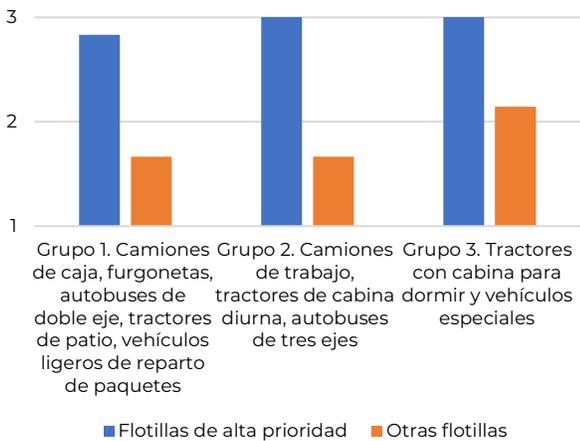


Figura 30. Capacidad auto percibida para apegarse al lineamiento Advanced Clean Fleets, bajo la modalidad ZEV Milestones Option por grupos y categorías de flotillas. Fuente: elaboración propia.

Este análisis revela una ligera disparidad en las calificaciones de los dos grupos de organizaciones encuestadas. Aunque ambas categorías reconocen limitaciones en su capacidad para cumplir con la normatividad de California, la percepción de las flotillas de alta prioridad, particularmente bajo el enfoque *ZEV Milestones Option*, sugiere una mayor

confianza en su capacidad para adaptarse y alcanzar las metas establecidas

7.2.7 Incentivos para la transición a la movilidad cero emisiones para el sector transporte de carga en California

Aunque solo el 40.0% de las organizaciones afirmó conocer por lo menos un incentivo vigente en California, todos los participantes coincidieron en que la implementación de estas medidas beneficia al proceso de transición hacia la movilidad cero emisiones. La falta de conocimiento sobre los incentivos refleja dos realidades:

1. En general, los incentivos no reciben la misma difusión que las regulaciones.
2. Las organizaciones de transporte de carga mexicanas, especialmente las que entran en la categoría de flotillas de alta prioridad, no están al tanto de la posibilidad de acceder a ciertos programas de incentivos, incluso sin tener sede en California.

Al comparar la percepción de la contribución asociada a los diferentes tipos de incentivos para la adquisición de vehículos de carga entre las organizaciones encuestadas, se observó que aquellas clasificadas como de flotillas de alta prioridad valoraron un mayor beneficio en comparación con las organizaciones que no están sujetas a las regulaciones de California.

Esta diferencia puede ser atribuida a que las flotillas dentro de la clasificación de alta prioridad perciben una mayor presión para cumplir con las regulaciones de transición a la electromovilidad cero emisiones.

En colaboración con:

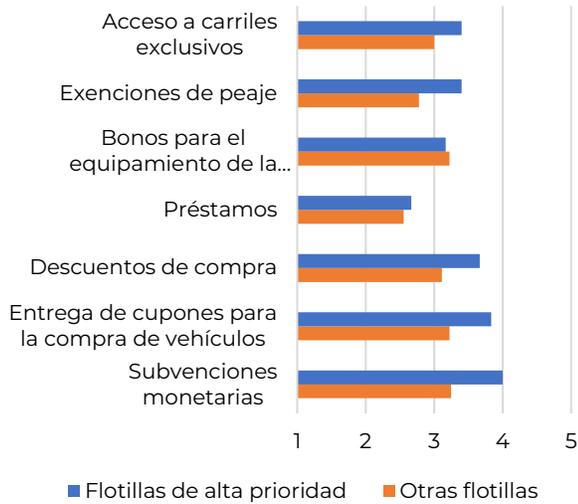


Figura 31. Contribución percibida por distintos esquemas de incentivos por categorías de flotillas para promover la transición a la movilidad cero emisiones del transporte de carga. Fuente: Elaboración propia.

La percepción de ciertos incentivos como menos beneficiosos, en este caso los créditos, puede atribuirse a la preocupación por la adquisición de deuda.

Ante la situación identificada, y después de diversas interacciones de parte de la Secretaría de Economía e Innovación con representantes del Gobierno de California (CARB, DoT, Caltrans, Sandag, por mencionar los principales), así como de asociaciones privadas de industria (Canacar, Otay Mesa Chamber of Commerce, Smartborder Coalition, entre otros), se precisa que los tiempos y esquemas impulsados por CARB en California tienen múltiples retos para su implementación, inclusive con empresas totalmente estadounidenses que rebasan cuestiones financieras e implican retos en el abasto de energía, en la disponibilidad de unidades en el mercado y la afectación en las tarifas de servicio que se traduce en incrementos en el costo al consumidor final.



8. Requerimientos para la transición al transporte de carga cero emisiones

En este proceso de transición hacia un sector de transporte de carga cero emisiones en México, la inversión en infraestructura de recarga y la inclusión de fuentes de energía más limpias se destacan como pilares importantes.

La adopción de autotransporte de carga eléctrico o de hidrógeno por parte de diversas empresas no solo responde a la necesidad de mitigar las emisiones y optimizar los costos operativos, o en el caso de California – Baja California, de atender una necesidad de mercado, sino que también plantea una demanda por la implementación de una infraestructura de carga suficiente y accesible.

La infraestructura de recarga desempeña un papel crucial en la viabilidad y eficiencia operativa de los vehículos de carga cero emisiones. A medida que las empresas transitan a flotas más sostenibles, surge la necesidad apremiante de contar con infraestructura de recarga eficientes y adecuadamente ubicada para ofrecer suficiente cobertura. Esto implica no solo la instalación de estaciones de carga en áreas urbanas, sino también a lo largo de las rutas de transporte, garantizando que los vehículos eléctricos o de hidrógeno puedan operar sin inconvenientes y alcancen destinos distantes de manera eficaz.

En consecuencia, la generación de energía limpia se convierte en un elemento necesario. La fuente de generación de la electricidad utilizada para recargar estos vehículos determina directamente el impacto ambiental de la movilidad eléctrica. La transición hacia fuentes de energía renovable y limpia no solo asegura la congruencia ambiental de la electromovilidad, sino que también fortalece la resiliencia del sector al diversificar las fuentes de suministro.

8.1 Requisitos legales para la infraestructura de recarga

En la actualidad en México no existen permisos especiales para la instalación y uso de estaciones de recarga, más que los necesarios para la construcción e instalación eléctrica requerida para su operación. Las siguientes normativas están relacionadas a la infraestructura eléctrica para las estaciones de carga:

- **NOM-001-SEDE-2012** - Artículo 625: respecto a los conductores y equipos eléctricos externos a un vehículo eléctrico que sirven para conectar el vehículo a un suministro de electricidad.
- **NMX-J-668-ANCE-2013** – Sistemas de protección personal para circuitos de alimentación – Parte 1: Requisitos generales. Parte 2: Requisitos particulares para dispositivos de protección para utilizarse en sistemas de carga.
- **NMX-J-677-ANCE-2020** – Equipos de alimentación.
- **NMX-J-684-ANCE-2013** – Sistemas para carga no inductiva de vehículos eléctricos.
- **NMX-J-725-1-ANCE-2016** – Sistemas de carga por inducción.

La contratación del servicio eléctrico estará en función de las necesidades de potencia de la estación de carga y la naturaleza del usuario, pudiendo ser una interconexión en baja o media tensión. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) incentiva el uso de vehículos eléctricos, específicamente vehículos ligeros, mediante la instalación, sin costo para el

En colaboración con:

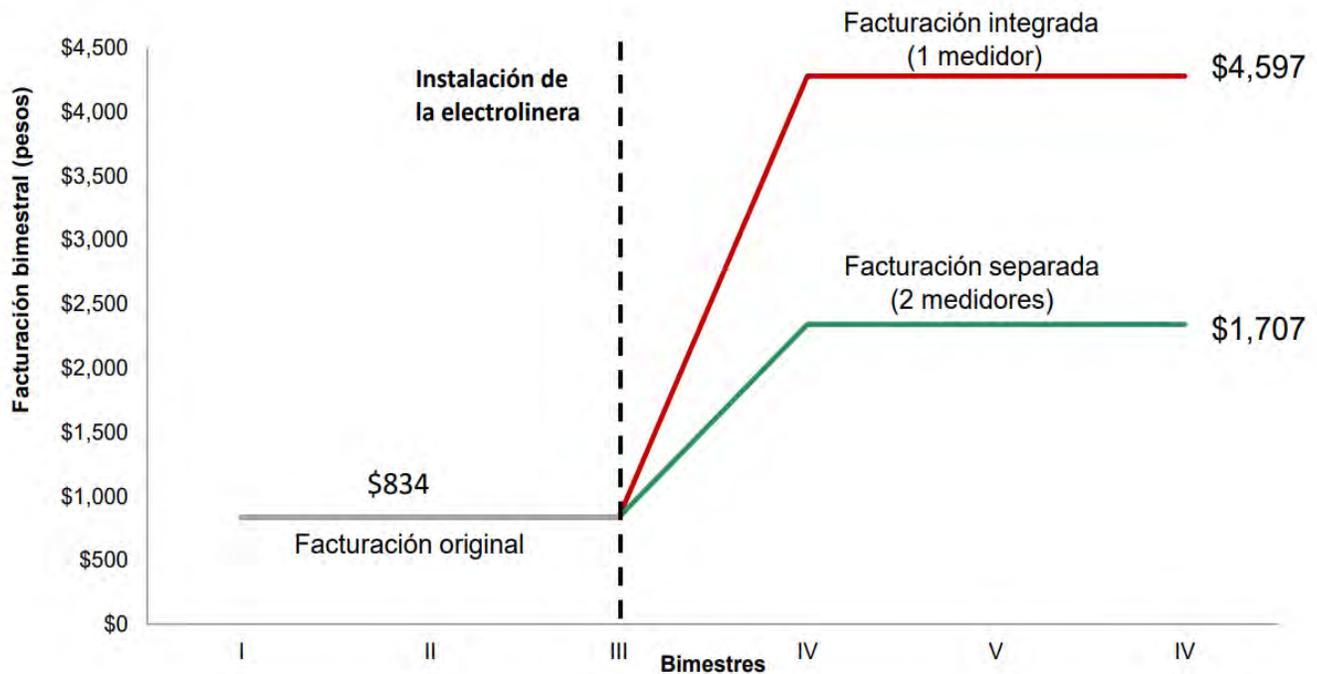


Figura 32. Ejemplo de facturación eléctrica para el sector doméstico cuando se tiene un vehículo eléctrico con y sin medidores separados. Fuente: CFE [71].

usuario, de un segundo medidor eléctrico para uso exclusivo de estaciones de cargas de vehículos eléctricos [70]. Esto permite que los usuarios no pierdan los beneficios económicos de las tarifas subsidiadas al separar el consumo eléctrico provocado por la recarga de los vehículos eléctricos.

En la Figura 32 se puede apreciar un ejemplo de facturación eléctrica para el sector doméstico cuando se tiene un vehículo eléctrico con y sin medidores separados.

Para dicha comparación se consideró el consumo doméstico de 450 kWh y consumo de la estación de carga de 375 kWh al bimestre, lo que equivale a 30-40 km diarios (15-20 recargas al bimestre, para un vehículo eléctrico ligero promedio). La electricidad doméstica se factura en tarifa 01. La electricidad para la estación de carga se factura en tarifa PDBT con medidor adicional y en tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) sin éste, IVA incluido [71].

A partir del 2018 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) emitió un acuerdo mediante el

cual se incentiva el despliegue de estaciones de carga eléctricas en todo el país. El Órgano de Gobierno de la CRE emitió el Acuerdo por el cual se interpreta el artículo 46, fracción I de la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) para permitir la venta de energía eléctrica entre particulares [72]. Previo a esta aprobación, los interesados en instalar estaciones de carga eléctrica no contaban con la regulación para proveer energía eléctrica a los usuarios de vehículos eléctricos e híbridos, limitando su desarrollo.

8.2 Regulaciones para infraestructura de estaciones de recarga de hidrógeno

En Estados Unidos, las principales regulaciones para instalar una estación de recarga de hidrógeno para vehículos están establecidas por la Administración Federal de Seguridad en el Transporte (*Federal Transportation Administration*, FTA) y el Departamento de

Transporte de los Estados Unidos (U.S. Department of Transportation, USDOT).

Estas regulaciones abarcan la seguridad en el almacenamiento, manipulación y transporte de hidrógeno, así como la certificación de las estaciones de recarga. También se dispone de una serie de estándares internacionales relacionados a la producción, transporte, distribución y despacho de hidrógeno, entre otros procesos, a los cuales se podría recurrir para el desarrollo de este tipo de proyectos,

como lo son la ISO 13985:2006 referente a los tanques de almacenamiento de hidrógeno en vehículos, ISO 13984:1999 referente a sistemas de despacho y recarga de hidrógeno líquido, y la ISO 19880:2020 referente a estaciones de despacho de hidrógeno gaseoso, entre otras.

En la Tabla 29 se mencionan algunos de estos estándares.



Tabla 29. Estándares ISO referentes al uso del hidrógeno en el sector transporte.

Normativas	Descripción
ISO 13985:2006	Hidrógeno líquido - Depósitos de combustible para vehículos terrestres: Especifica los requisitos de construcción de los depósitos de combustible rellenables para hidrógeno líquido utilizados en vehículos terrestres.
ISO 17268:2020	Dispositivos de conexión para la recarga de vehículos terrestres de hidrógeno gaseoso: Define las características de diseño, seguridad y funcionamiento de los conectores para la recarga de vehículos terrestres de hidrógeno gaseoso.
ISO/TS 15869:2009	Hidrógeno gaseoso y mezclas de hidrógeno - Depósitos de combustible para vehículos terrestres: Especifica los requisitos para los depósitos de combustible rellenables ligeros destinados al almacenamiento a bordo de hidrógeno gaseoso comprimido a alta presión o de mezclas de hidrógeno en vehículos terrestres.
ISO 16110-1:2007	Generadores de hidrógeno que utilizan tecnologías de procesamiento de combustible: Se aplica a los sistemas de generación de hidrógeno empaquetados, autónomos o adaptados de fábrica.
ISO 22734:2019	Generadores de hidrógeno por electrólisis del agua: Define los requisitos de construcción, seguridad y rendimiento de los aparatos modulares o de fábrica para la generación de hidrógeno gaseoso.
ISO 13984:1999	Hidrógeno líquido - Interfaz del sistema de recarga de vehículos terrestres: Especifica las características de los sistemas de recarga y suministro de hidrógeno líquido en tierra.
ISO 14687:2019	Calidad del combustible de hidrógeno - Especificación del producto: Especifica las características mínimas de calidad del combustible de hidrógeno distribuido para su utilización en aplicaciones vehiculares y estacionarias.
ISO/TR 15916:2015	Consideraciones básicas para la seguridad de los sistemas de hidrógeno: Proporciona directrices para el uso del hidrógeno en sus formas gaseosa y líquida, así como para su almacenamiento en cualquiera de estas u otras formas.
ISO 19880:2020	Hidrógeno gaseoso - Estaciones de servicio: Define los requisitos mínimos de diseño, instalación, puesta en servicio, funcionamiento, inspección y mantenimiento para la seguridad y, en su caso, el rendimiento de las estaciones de servicio públicas y no públicas que suministran hidrógeno gaseoso a vehículos ligeros de carretera.

En México no existe regulación específica para la construcción y operación de estaciones de recarga de hidrógeno para vehículos cero emisiones.

Las normativas más cercanas, en su caso, corresponden a la producción, transporte, almacenamiento y venta de este combustible, como por ejemplo [76]: NOM-001-SEDE-2012,

Instalaciones Eléctricas, NOM-002-STPS-2010 Prevención y protección contra incendios, NOM-005-STPS-1998 Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas, NOM-020-STPS-2011 Recipientes a presión y calderas.

8.3 Estaciones de carga eléctrica de camiones medianos y pesados en México

Hasta el 2022, según la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), el país contaba con un aproximado de 1,146 estaciones de carga para vehículos eléctricos ligeros, 51 de estas instaladas en Baja California [77,78].

Sin embargo, estas estaciones podrían no cumplir con los requerimientos necesarios para la carga de camiones eléctricos. Así también, recientemente se han inaugurado dos centros de recarga eléctrica de camiones medianos y pesados, uno perteneciente a Grupo Modelo ubicado en la Ciudad de México, y otro de Grupo BYD en el Estado de México (ver Tabla 30).

La estación de Grupo Modelo está enfocada en camiones de reparto de última milla, los cuales tienen una autonomía en el rango de los 120-160 km. Esta estación de carga tiene capacidad para 32 unidades simultáneamente, con un tiempo de recarga aproximado de 2 horas y con un costo de inversión de \$ 7.2 millones de pesos.

Por otra parte, la estación de carga de BYD está enfocada en ofrecer el servicio de recarga a sus clientes, con una capacidad de 14 unidades de recarga simultánea con una potencia de 150 kW por cargador, considerada una estación de carga rápida, con un costo de inversión de aproximadamente \$ 34.4 millones de pesos. Si se utilizaran las 14 unidades de recarga de forma simultánea se tendría una demanda de potencia de 2.1 MW.

El gobierno mexicano impulsa la electromovilidad para vehículos ligeros con políticas públicas que buscan fomentar el desarrollo del mercado de vehículos eléctricos. Una de estas políticas es el Proyecto para la Promoción de la Movilidad Eléctrica por medio de la Inversión en Infraestructura de recarga (PEII), el cual refiere a la instalación de 100 electrolineras públicas y gratuitas en las principales ciudades del país, así como la



creación de corredores eléctricos que conecten diferentes puntos de la república.

Las electrolineras, se propone sean ubicadas en locaciones clave, como centros comerciales, hoteles y gasolineras. Los corredores eléctricos, por su parte, se propone cubran rutas de alto tránsito, por ejemplo, desde la Ciudad de México hasta Monterrey y Guadalajara, y desde la frontera con Estados Unidos hasta Saltillo. Estas iniciativas buscan promover la adopción de vehículos eléctricos ligeros, que son una alternativa más limpia y eficiente al transporte tradicional [70].

8.4 Ejemplo de facturación eléctrica de camiones eléctricos en Baja California

Con el objetivo de contar con referencias aproximadas de costos eléctricos debido a la recarga de camiones eléctricos, y su comparación con el uso de diésel, se realizó un análisis con las siguientes consideraciones:

- Camión eléctrico Kenworth T680E (clase 8), con una autonomía de 240 km y almacenamiento de 396 kWh.
- Estación de recarga de 150 kW, con un tiempo de recarga de 3 horas.
- Uso 24-7 de la estación (continuo).
- Viajes de 440 km de distancia, según la ruta Tijuana – Los Ángeles – Tijuana.

Tabla 30. Centros de recarga eléctrica de camiones medianos y pesados en México [73,74].

Desarrollador	Tipo	Capacidad	Costo
Grupo Modelo	Última milla	32 unidades de 21 toneladas en 2 hr. (autonomía de 120-160 km, potencia de recarga de 30 kW [75]).	\$7.2 millones de pesos
BYD	Tractocamiones clase 8	14 unidades (150 kW potencia de carga por unidad)	Aproximadamente \$34.4 millones de pesos

Dado lo anterior, debido a la demanda de potencia constante de la estación de recarga, en el supuesto de que no solamente se contará con una sola estación en la organización, la tarifa en suministro básico en CFE considerada es la Gran Demanda Media Tensión Horaria (GDMTH).

En la Tabla 31 se muestra un resumen de la facturación eléctrica mensual y anual para esta estación de recarga. El mantener operando una estación de recarga eléctrica de 150 kW de manera constante representaría un gasto anual de \$2,290,500 pesos.

Debido a que las recargas tienen una duración aproximada de 3 horas, se pueden realizar 8 recargas por día, equivalentes a una distancia de 1,920 km considerando la autonomía del modelo T680E de Kenworth.

Tabla 31. Facturación eléctrica mensual y anual para una estación de carga de 150 kW de potencia, operando 24-7.

Mes	Facturación
Enero	\$ 186,212
Febrero	\$ 180,127
Marzo	\$ 190,137
Abril	\$ 190,173
Mayo	\$ 191,069
Junio	\$ 190,372
Julio	\$ 196,095
Agosto	\$ 194,952
Septiembre	\$ 189,259
Octubre	\$ 193,843
Noviembre	\$ 193,631
Diciembre	\$ 194,630
Total anual	\$ 2,290,500

La facturación presentada se calculó con base a la tarifa eléctrica GDMTH con precios del año 2023, considerando los 150 kW de demanda de la estación y su respectivo consumo de energía, así como los distintos periodos horarios de la tarifa, sin contabilizar el costo por alumbrado público. En la Tabla 32 se presentan los costos promedios por hora de recarga, por recarga completa y por viaje, así como su comparativa con el uso de diésel para el mismo trayecto, según la información antes mencionada.

Tabla 32. Costos promedio de recarga eléctrica (pesos mexicanos).

Costo promedio por hora de recarga	\$ 261.47
Costo promedio por recarga completa	\$ 784.42
Costo por viaje (440 km)	\$ 1,568.84
Costo de diésel por mismo viaje (rendimiento de 2.76 km/L y \$23.7 pesos el litro)	\$ 3,773.96
Porcentaje de disminución de costo por viaje al cambiar a camión eléctrico	58.4%

Es de notar el costo por viaje del escenario analizado, resultando en un total de \$ 1,568.84 pesos para la ruta Tijuana – Los Ángeles – Tijuana, con una distancia de 440 km. Esto, en comparativa con el mismo trayecto, pero siendo realizado con un camión diésel, representa una disminución del 58.4% en el costo energético al utilizar energía eléctrica bajo los supuestos antes mencionados.

Para lo anterior, se consideró un rendimiento promedio de los camiones diésel clase 8 de 2.76 km por litro (6.5 millas por galón). Esto es relevante para las organizaciones transportistas, ya que pudieran disminuir en este porcentaje sus gastos por combustible y ser más competitivos al mismo tiempo que cumplen con las regulaciones y normativas establecidas.

8.5 Requerimientos para camiones eléctricos

Vehículos con autonomía suficiente para realizar el trayecto completo.

La distancia entre Mexicali y Tijuana es de aproximadamente 180 kilómetros por carretera, mientras que la distancia entre Tijuana y San Diego es de aproximadamente 40 kilómetros y de 220 km para el trayecto Tijuana-Los Ángeles.

En la actualidad, los camiones eléctricos tienen una autonomía promedio de 300 kilómetros, por lo que podrían realizar el trayecto de ida sin necesidad de recarga, pero la requerirían para el regreso. Sin embargo, es importante considerar que la autonomía puede variar en función de factores como el peso de la carga, las condiciones climáticas y el estilo de conducción.

Infraestructura de recarga adecuada.

Los camiones eléctricos requieren de estaciones de carga que permitan recargar sus

baterías en un tiempo razonable. En Baja California existen estaciones de carga públicas. Sin embargo, la potencia de esta infraestructura no es suficiente para satisfacer la demanda de los camiones eléctricos de carga.

Es de importancia considerar que, a mayor potencia de las estaciones eléctrica, menor será el tiempo que el camión se encontrará detenido para la recarga de la batería, permitiendo tener más horas productivas.

El costo de operación de los camiones eléctricos debe ser competitivo con el costo de operación de los camiones diésel, esto significa que el costo de la electricidad debe ser relativamente bajo.

8.6 Requerimientos para camiones de hidrógeno

Producción y distribución de hidrógeno.

Se debe buscar la producción de hidrógeno con una baja o mínima huella de carbono a partir del aprovechamiento de combustibles de transición o con baja emisión de CO₂ como el gas natural o mediante electrolizadores alimentados con energía limpia.

Por su parte, la distribución de este recurso se debe acercar a puntos de consumo importante que sean accesibles y reduzcan tiempos de recarga que dependerá en gran medida de la tecnología que el mercado determine; ya sea para su almacenamiento en estado licuado o comprimido, así como celdas de combustible.

Cooperación para la infraestructura de recarga binacional.

En Baja California, no existen actualmente estaciones de recarga de hidrógeno para vehículos pesados. Sin embargo, con las autonomías actuales de los camiones de

hidrógeno, estos podrían realizar el viaje con carga a las principales ciudades de California y aprovechar su infraestructura de recarga.

El desarrollo de la infraestructura de recarga es fundamental para el despliegue de camiones de hidrógeno en el transporte transfronterizo entre Baja California y California. Así también, debido a factores como la densidad energética, autonomía y tiempo de recarga, los camiones de hidrógeno se proyectan como la mejor alternativa para viajes largos.

8.7 Potencial del Hidrógeno en Baja California

El hidrógeno, por su naturaleza, no se puede obtener de manera directa y obliga al desarrollo de procesos para su producción. Derivado de esto, se ha diseñado una escala de color que define los tipos de hidrógeno y que está en función del proceso para su obtención, tal y como se observa en la Figura 33.

Dentro de este esquema, existe el hidrógeno bajo en carbón que incluye a los de tipo azul y el verde. El primero se obtiene a partir del reformado de gas natural y la captación del CO₂ que evita su que este llegue a la atmósfera volviéndolo más sustentable que otros tipos por ser de baja emisión.

Por su parte, el segundo tiene una mínima huella de carbono ya que se logra producir mediante electrólisis; un proceso que se lleva a cabo a través de la implementación de energías limpias como la eólica y la solar.

En ambos escenarios, Baja California tiene un potencial importante para el desarrollo de estas fuentes de producción de hidrógeno. Con una disponibilidad de gas natural en el estado proveniente de Estados Unidos, sumada a una infraestructura de transporte y distribución ampliamente desarrollada, vuelven factible el desarrollo de proyectos de hidrógeno azul para la entidad.

En colaboración con:

La alta disponibilidad de recursos naturales como radiación solar y viento, permiten el desarrollo de proyectos de generación de energía limpia competitivos y eficientes para la producción de hidrógeno.

Un reporte reciente [79] de la Alianza Energética México-Alemana presenta el potencial de producción de hidrógeno verde (H2V) en Baja California, en donde estiman que se pueden alcanzar costos de producción de hasta 1.74 USD/kg hacia el 2030, propiciado por los altos factores de planta de la energía eólica.

También menciona que, entre 2020 y 2050, la demanda de hidrógeno en Baja California podría multiplicarse casi 40 veces debido a la creciente demanda de este energético en Estados Unidos, principalmente el estado de California por sus estrategias para la descarbonización del sector transporte y el impulso al hidrógeno que se ha tenido en el último año.

Las condiciones para el desarrollo de proyectos de hidrógeno en Baja California existen, por lo que la meta es la implementación de tecnologías cada vez más limpias y eficientes para la descarbonización del sector energético y la producción de hidrógeno. Sin embargo, es importante considerar la relevancia de una transición clara y ordenada para la movilidad cero emisiones; principalmente del sector de transporte de carga.

8.8 Modernización de infraestructura eléctrica en Baja California

A lo largo del presente documento se ha hecho referencia a que la transición a la movilidad cero emisiones debe ir acompañada de un reforzamiento en la infraestructura eléctrica para dar soporte a las necesidades energéticas de las estaciones de recarga.

Figura 33. Colores del hidrógeno según el tipo de tecnología empleada. Fuente: Elaboración propia con información de GIZ [79].



En colaboración con:

A medida que más usuarios adopten el uso de vehículos eléctricos, incrementará la demanda de energía eléctrica, por lo que la infraestructura de generación, transmisión, transformación y distribución deberá ser capaz de ofrecer este servicio de forma confiable y sostenible, especialmente poniendo en contexto que se trata de la misma energía demandada para el resto de las actividades humanas, incluyendo el desarrollo industrial que en el estado de Baja California continúa en crecimiento.

Para lo anterior se están realizando acciones coordinadas con el Gobierno Federal para la modernización y fortalecimiento de la red eléctrica en Baja California, y que traerá consigo una infraestructura eléctrica estable y resiliente que permitirá hacer frente al incremento de la demanda, como lo será la transición a la movilidad cero emisiones.

8.8.1 Generación: Capacidad instalada y demanda actual

Baja California cuenta con una matriz energética diversa; con una combinación de energías renovables y convencionales se propicia una red eléctrica estable. Según datos de CFE y CENACE [80], en el 2023 el Sistema Interconectado de Baja California (SIBC) contaba con 14% de capacidad instalada proveniente de energías renovables, equivalentes a 551 MW de plantas de energía eólica (40 MW), fotovoltaica (51 MW) y geotermoeléctrica (460 MW).

Con una capacidad efectiva total instalada de 3,897 MW a finales del 2023, sumando también un aproximado de hasta 600 MW de potencia importada de California durante los meses de verano, se ha satisfecho la demanda máxima instantánea de 3,448 MW del SIBC. Durante el 2022 se consumieron 16, 233 GWh de energía eléctrica en el SIBC, aproximadamente el 5% del total del país.

Los datos históricos de CFE [80] indican que la demanda del SIBC tiene una tasa media de

crecimiento anual del 3.45%, lo que supone una constante necesidad de inversión en infraestructura de generación eléctrica, transmisión, transformación y distribución para hacer frente a dicho crecimiento.

Generación distribuida fotovoltaica en Baja California

La Generación Distribuida (GD) en México se refiere a la producción de energía eléctrica a pequeña escala, realizada por generadores exentos. Estos generadores deben cumplir con dos características principales:

- Capacidad instalada: La central de generación debe tener una capacidad menor a 500 kW.
- Interconexión: La central debe estar conectada a un circuito de distribución de la red eléctrica.

Este esquema de generación puede ayudar a satisfacer las necesidades de energía eléctrica renovable para las estaciones de carga, considerando la limitante actual de 500 kW de capacidad instalada.

La GD en México está casi en su totalidad compuesta por sistemas de generación eléctrica fotovoltaica, con un 99% del total de la potencia instalada (3,339 MW) a finales del 2023 [81].

En Baja California se tiene una capacidad instalada de GD de 99 MW (equivalente a aproximadamente el 2.5% de la capacidad instalada en el estado) y esta ha venido incrementando considerablemente año tras año, como se puede apreciar en la Figura 34.

Esta potencia resulta útil para disminuir la demanda de energía a las redes generales de distribución en el estado y puede ser un detonante para impulsar la transición a la movilidad cero emisiones en Baja California aprovechando el potencial de generación de energías renovables presentes en la región.

En colaboración con:

Proyectos de fortalecimiento para la generación eléctrica

Durante el 2023 entraron en operación dos centrales de combustión interna y una de turbogas, para entregar un aproximado de 672 MW de potencia eléctrica al SIBC. A la par, se encuentran en construcción dos centrales de ciclo combinado que sumarán 1,289 MW más al SIBC para el año 2025.

Adicionalmente, se agregarán un total de 880 MW de potencia de energía limpia proveniente de la central fotovoltaica Rafael Galván en Puerto Peñasco, Sonora. Esta potencia se recibirá en tres etapas y donde se espera que los primeros 300 MW estén listos para el año 2025, otros 300 MW para el 2026 y los últimos 280 MW para el 2028.

Acompañada de esta potencia fotovoltaica, se tiene proyectado un total de 120 MW de almacenamiento de energía en baterías con entrada en operación para el año 2028 [80]. Así también, dentro del plan de expansión del SIBC 2024-2034 presentado por CFE, se tiene proyectada una adición de capacidad neta de

3,714.3 MW dentro de los próximos 10 años, suficiente para satisfacer el incremento de demanda de energía en ese periodo, según el incremento promedio histórico que se tiene en el SIBC.

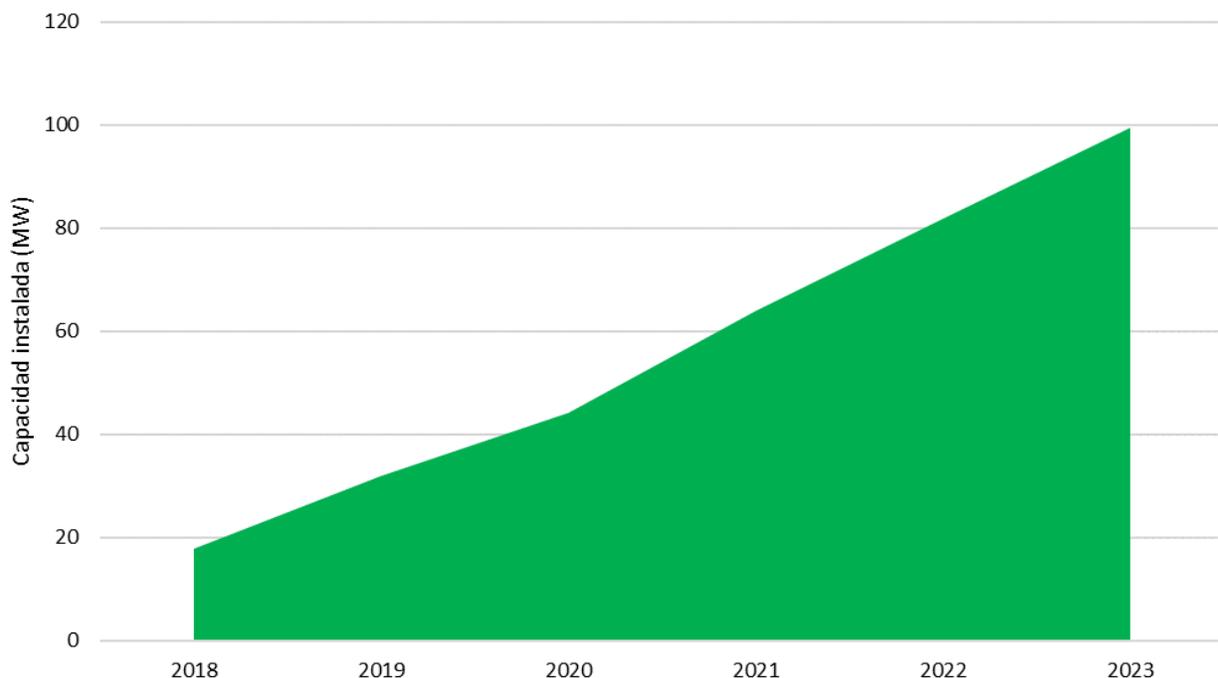
8.8.2 Transmisión y distribución

Una de las principales inversiones en materia de transmisión, son 290 km de línea para la interconexión del SIBC con el sistema fotovoltaico Rafael Galván en Puerto Peñasco, que abrirá el camino para la interconexión del SIBC con el SIN.

Este proyecto permitirá agregar una mayor potencia eléctrica al estado y no depender únicamente de desarrollos energéticos en la región. Lo anterior se tiene proyectado para el año 2024, cuando se termine la construcción de la Secuencia II (primeros 300 MW para el SIBC) de la central fotovoltaica Puerto Peñasco.

Para el fortalecimiento de la infraestructura de transmisión del SIBC, se tienen proyectadas

Figura 34. Capacidad instalada de la generación distribuida fotovoltaica en Baja California en el periodo 2018-2023. Fuente: Elaboración propia con información de CRE [81].



En colaboración con:

obras de refuerzo de los principales enlaces eléctricos, como lo es el enlace Costa-Valle en 230 kV para poder evacuar la generación hacia la Zona Costa del estado, mediante el desarrollo de circuitos de la SE La Rosita a La Herradura en 230 kV, así como de la SE La Herradura a Tijuana I en 230 kV.

En las mejoras para la red de distribución, CFE tiene contempladas 43 obras para realizarse en el periodo de 2023-2027, como lo es en redes de media y baja tensión como en construcción de subestaciones de distribución. Para lo anterior se cuenta con una inversión autorizada de \$ 32.68 millones de pesos [80].

8.8.3 Transformación

Aunado al reforzamiento de la infraestructura de transmisión, se están realizando inversiones para el fortalecimiento de las subestaciones (SE) de transformación.

La SE Panamericana Potencia Banco 3, Tijuana Banco 4 y Metrópoli Potencia Banco 5 tendrán un reforzamiento a 300 MVA, mientras que la SE El Arrajal Banco 1 se fortalecerá a 133.3 MVA.

Por otra parte, una fuerte inversión en nuevas SE para transformación se está llevando a cabo, con el desarrollo de 14 proyectos de construcción en todo el estado con una inversión de \$ 1,415.56 millones de pesos, dos de estos ya finalizados: Pacífico Banco 2 en la ciudad de Tijuana, con una capacidad de 30 MVA, y González Ortega Banco 3 en la ciudad de Mexicali con 40 MVA.

El resto de los proyectos se encuentran en distintas etapas de desarrollo, con fecha de finalización programada para el 2027. Lo anterior incorporará un total de 470 MVA adicionales al SIBC, distribuidos en 210 MVA para Tijuana, 210 MVA para Mexicali y 50 MVA para San Quintín, lo que permitirá un balance adecuado entre generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en el estado.

La modernización de las SE de transformación aligerará cargas en las SE actuales, permitiendo detonar proyectos, tanto de movilidad cero emisiones como de otra naturaleza, especialmente en zonas donde se habían instruido acciones de mejora en Baja California, según el Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT) 2023 – 2027 [82], del Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE), las cuales se pueden apreciar en la Figura 35.

Estos proyectos, que abordan los pilares del sector eléctrico en Baja California, agregarán confiabilidad del suministro e integración de energía limpia y flexible durante los próximos años, que ayudará realizar una transición a la movilidad cero emisiones de forma segura.



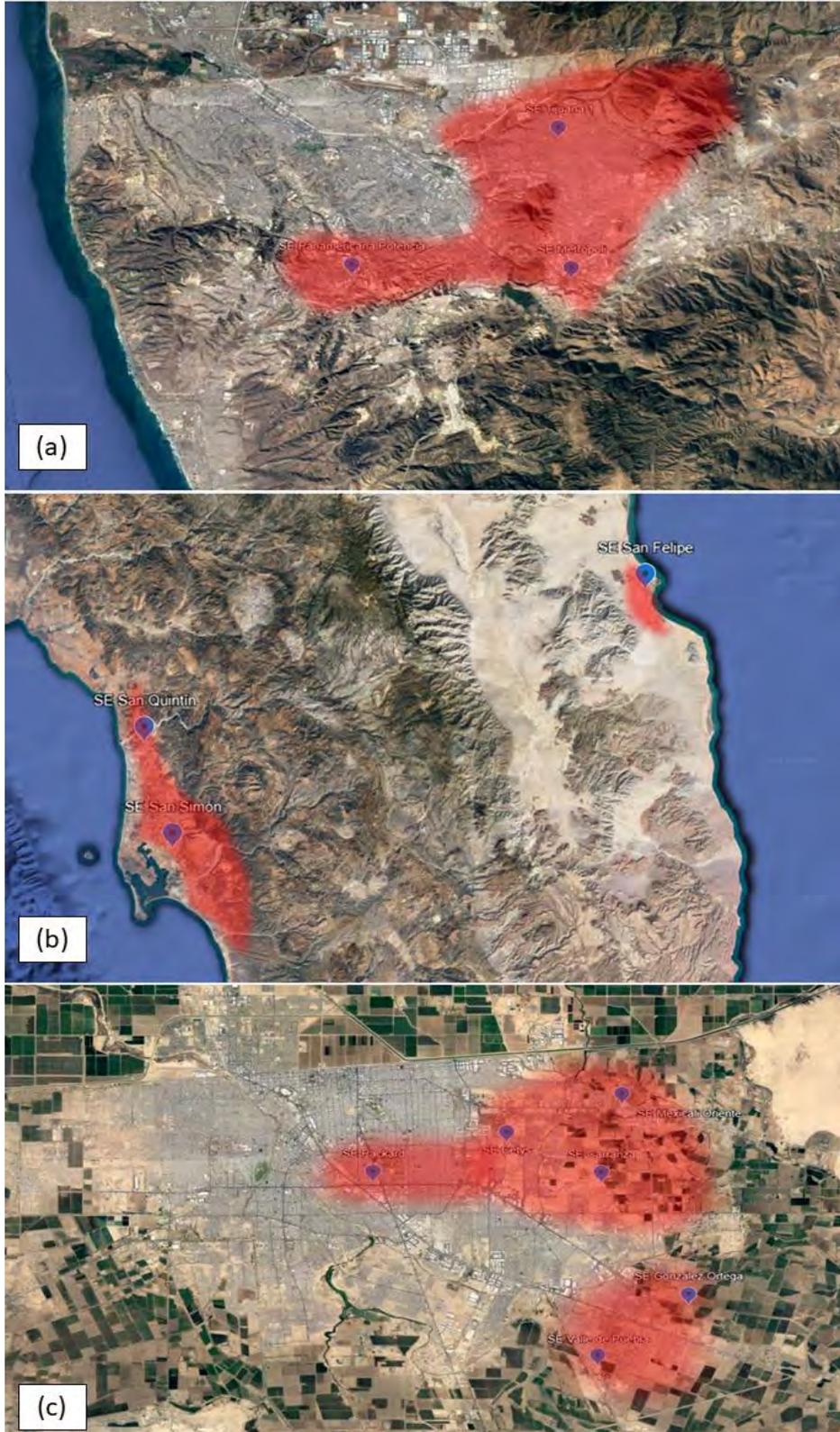


Figura 35. Zonas donde se han instruido acciones de mejora en Baja California, según el PAMRNT [82]. (a) zona Tijuana, (b) zona Ensenada y (c) zona Mexicali.

9. Proyección de escenarios hacia el 2050: Desafíos y oportunidades en la movilidad eléctrica del autotransporte de carga en Baja California

En esta sección, se analizarán diversos escenarios proyectados hacia el año 2050, centrándonos en el crecimiento de las flotas de transporte de carga en Baja California que deberán transitar a cero emisiones como consecuencia de las regulaciones californianas.

La planificación basada en proyecciones de crecimiento de las flotas es esencial para garantizar que Baja California esté preparada para enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades de un futuro con movilidad sostenible.

9.1 Escenario bajo el contexto regulatorio de California

Con base en lo establecido en el calendario dispuesto por el ACF para hacer la transición a vehículos cero emisiones en el sector transporte de carga, tal y como se menciona en el capítulo 4, se realizó una proyección del número de unidades cero emisiones en Baja California que se estarán incorporando anualmente hasta el 2050 exclusivamente para las unidades *transfer*.

Lo anterior permitirá establecer acciones para abordar la transición de forma oportuna. A partir de lo anterior, se realizaron las siguientes consideraciones:

- Se utilizó el número de unidades registradas en Baja California en la modalidad *Transfer*, y se estimó un crecimiento anual de unidades del 3.92%, según datos históricos del parque vehicular motriz del

autotransporte de carga en Baja California [7].

- Para los grupos del calendario del ACF se consideraron las unidades motrices transfer C-2 y C-3 para el grupo 1, la T-2 para el grupo 2 y el T-3 para el grupo 3.
- Se considera que CARB mantiene sin ajustes sus programas, incluyendo parámetros y fechas críticas.
- Se consideran parámetros actuales de eficiencia y consumo. No se integra un factor de ajuste en el tiempo asociado al avance tecnológico o economías de escala.
- Las proyecciones se presentan considerando la suma de todos los grupos.

9.1.1 Crecimiento de unidades cero emisiones

En la Figura 36 se muestra la proyección de unidades de transporte de carga cero emisiones en Baja California, impulsada por el contexto regulatorio del ACF de California.

Se puede apreciar una etapa crítica con crecimiento exponencial en el periodo de 2024-2042, esto debido al calendario de transición del ACF y los porcentajes de unidades cero emisiones que las empresas mexicanas que son susceptibles a las regulaciones del CARB deberán tener para dicho periodo.

Durante los primeros 6 años se inicia la adquisición de unidades cero emisiones relativamente lenta, con aproximadamente 2,600 unidades para el año 2030, principalmente impulsada por las unidades del grupo 3, camiones pesados con cabina diurna (T-3), con cerca del 65% del total de las unidades cero emisiones para esa fecha.

Figura 36. Escenario de proyección de unidades cero emisiones en Baja California bajo el contexto regulatorio del ACF de California, para el periodo de 2024-2050.

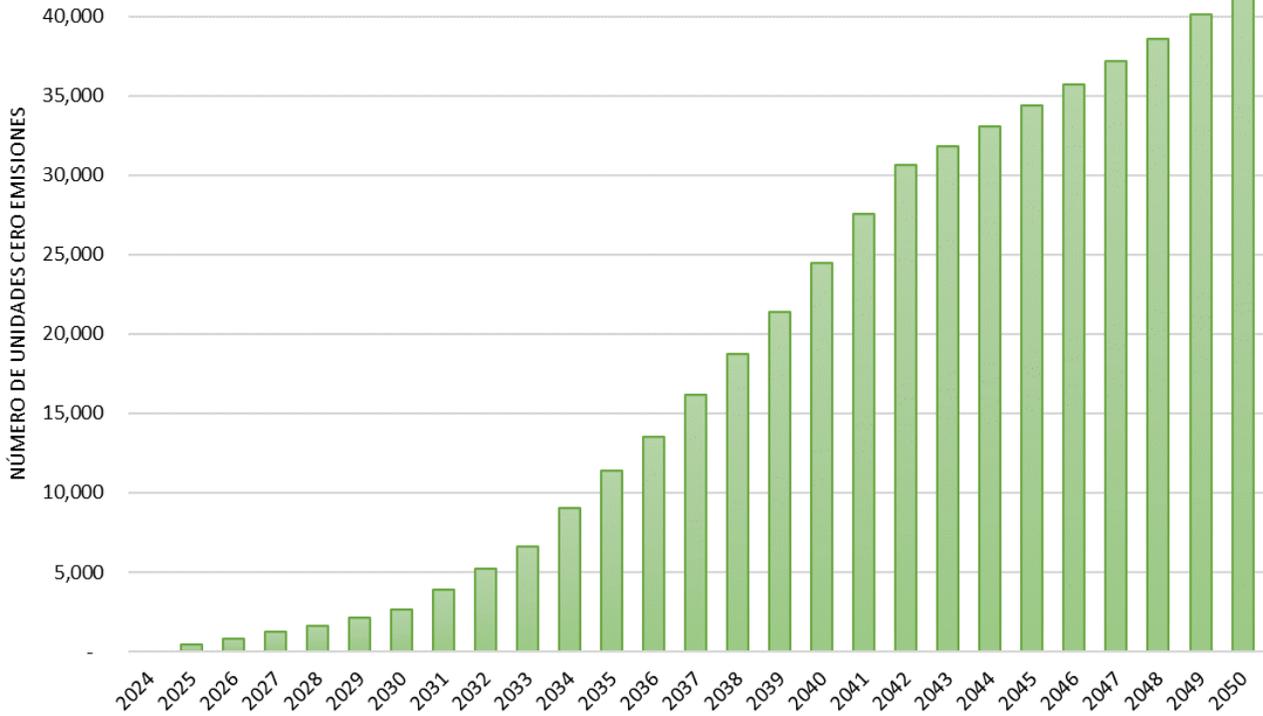
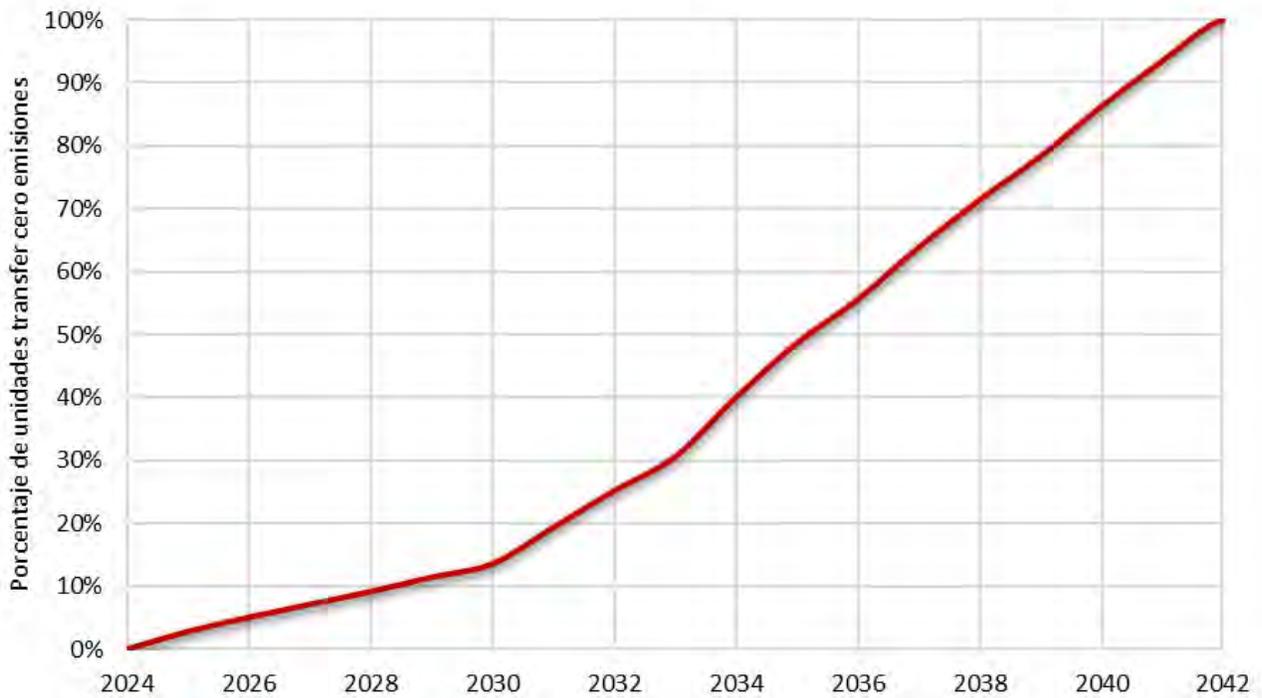


Figura 37. Porcentaje de unidades cero emisiones del total de unidades transfer en Baja California bajo el contexto del ACF de California, para el periodo de 2024-2042.



En colaboración con:

A partir del 2030 se presenta un crecimiento acelerado de las unidades, propiciado primeramente por el incremento porcentual de unidades del grupo 3, cada 3 años, y este se mantiene hasta el año 2042, periodo en el cual los porcentajes de unidades cero emisiones de todos los grupos alcanzan al 100% de las unidades totales *transfer*, según el calendario ACF (ver Figura 37).

Para el 2042 se proyectan 30,655 unidades *transfer* cero emisiones en Baja California. A partir de este año se inicia una etapa de nueva normalidad, en donde las nuevas adquisiciones de unidades *transfer* de transporte de carga en Baja California son cero emisiones.

Se proyectan para el año 2050 un total de 41,700 unidades *transfer* cero emisiones en Baja California, con incorporaciones promedio de 1,380 unidades anuales (3.4% de incremento promedio anual durante el periodo 2042-2050).

9.1.2 Consumo de energía eléctrica

Por otra parte, debido al incremento en el número de unidades cero emisiones, la transición conllevará un aumento en el consumo de energía eléctrica, considerando que estas unidades cero emisiones utilizarán electricidad para recargarse.

En la Figura 38 se aprecia el consumo de energía eléctrica proyectado para Baja California en el periodo de 2024-2050, considerando el contexto del ACF de California.

Para dichas proyecciones se consideró un total de 100,000 km de distancia recorrida por cada unidad de camión de carga pesada [83] y un rendimiento de 1.1 kWh por kilómetro recorrido, considerando lo reportado por Tesla y Volvo [57].

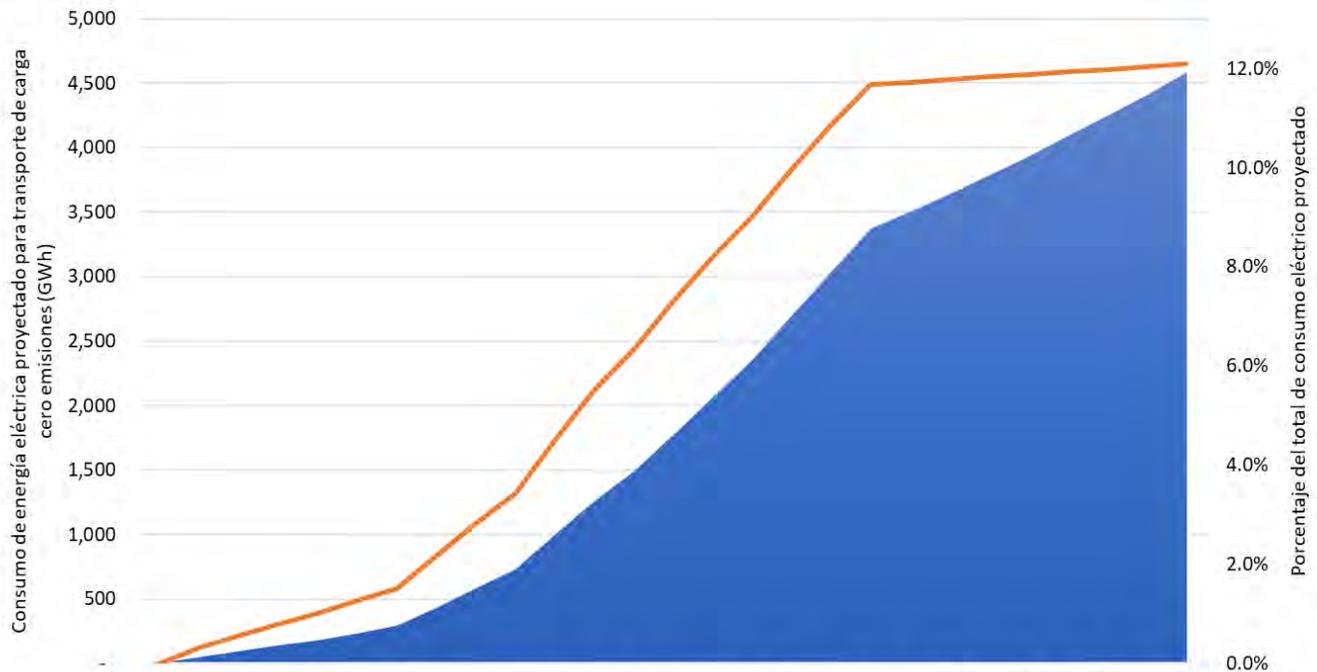


Figura 38. Consumo de energía eléctrica proyectado en Baja California para el periodo de 2024-2050 y porcentaje del total de energía consumida, considerando el efecto del ACF de California en nuestro estado.

El incremento en el consumo de energía eléctrica en el estado se proyecta que alcance un total de 4,588 GWh para el año 2050 debido solamente a la incorporación de camiones de carga cero emisiones bajo este escenario de transición.

Baja California, en el año 2022, presentó un consumo eléctrico de 14,603 GWh de electricidad, con una proyección de incremento anual del 3.47% [80].

Para el 2050 se tendría un consumo en el estado de 37,853 GWh, 2.6 veces más de energía eléctrica consumida en comparación con el año 2022, sin considerar el aumento debido a la transición del sector transporte de carga a cero emisiones.

Considerando lo anterior, para el año 2042, cuando el calendario del ACF obligue a contar con flotillas 100% cero emisiones, el consumo de energía eléctrica en Baja California para los camiones de carga cero emisiones alcanzará un 11.7% del total de energía consumida, mientras que para el 2050 será de un 12.1%.

Sin embargo, resalta el incremento en el consumo de energía durante el periodo de 2030-2042. Durante estos años se presentan incrementos anuales del 4.25% sobre lo ya proyectado por CFE para ese periodo, que es más del doble del incremento en el consumo anual del estado calculado por CFE, por lo que será necesario adicionar la transición a camiones de carga cero emisiones en Baja California en la planificación eléctrica en los años futuros.

9.1.3 Reducción de emisiones CO₂e

La transición hacia un sector transporte de carga cero emisiones reduce las emisiones contaminantes debido a que los vehículos eléctricos o de hidrógeno no producen gases de escape, como CO₂, NO_x y partículas finas, que son comunes en los motores de combustión interna. Esto disminuye significativamente la contaminación del aire y la contribución al cambio climático.

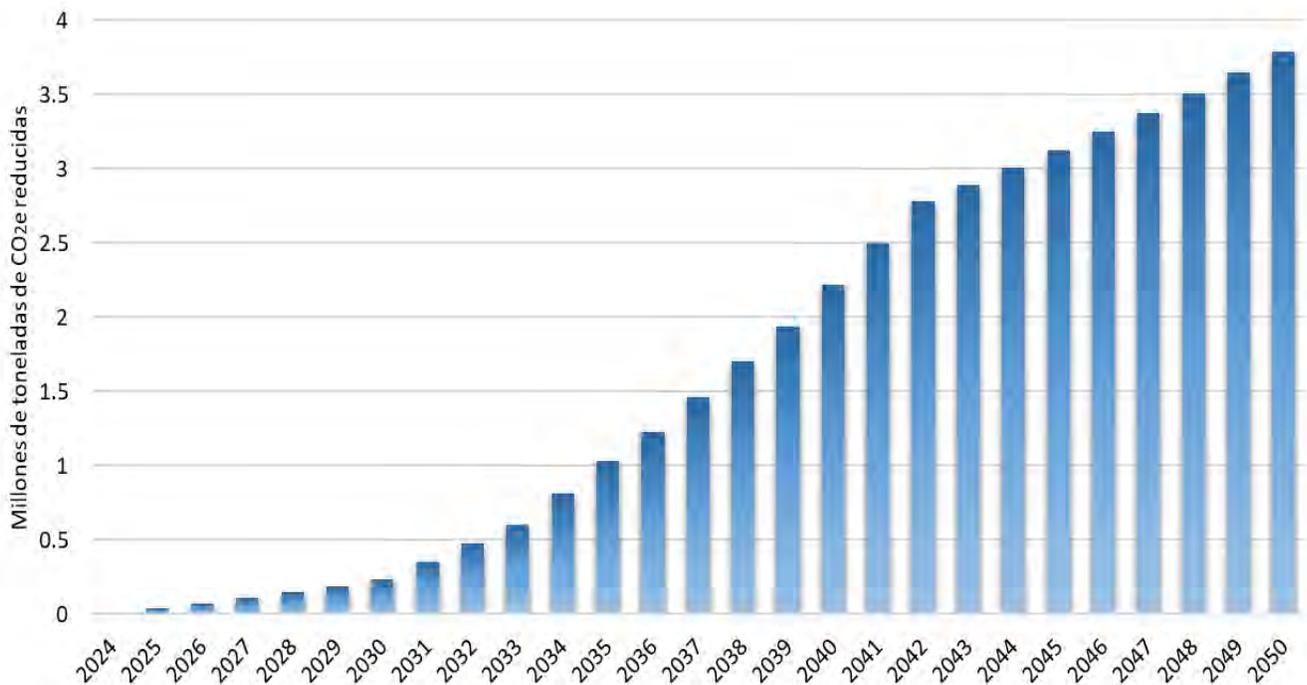


Figura 39. Reducción de emisiones de CO₂e en Baja California en millones de toneladas anuales para el periodo de 2024-2050, considerando el efecto del ACF de California en nuestro estado.

En colaboración con:

Bajo esta premisa, se proyectó la reducción de emisiones de CO₂e al transitar hacia la movilidad cero emisiones del transporte de carga en Baja California, bajo el contexto del ACF en el periodo del 2024-2050, como se puede apreciar en la Figura 39. Para lo anterior se consideró un factor de 0.909 kg de emisiones de CO₂e por kilómetro recorrido [56].

Se proyectan reducciones de emisiones del CO₂e en el rango de las 2.8 millones de toneladas anuales para el año 2042, cuando el 100% de las unidades transfer sean cero emisiones debido al cumplimiento del ACF.

A medida que el número de unidades cero emisiones incrementan, se estima una reducción de 3.8 millones de toneladas de CO₂e para el año 2050 que, de forma acumulada, durante el periodo del 2024 al 2050 se tendría una disminución total de 44.6 millones de toneladas de CO₂e en Baja California bajo el escenario del ACF.

9.2 Escenarios de transición bajo contexto estatal

Para dar paso a un análisis de escenarios complementarios al del contexto regulatorio de California, pero sin ser guiado predominantemente por el calendario de transición del ACF, en esta sección se estudiarán otros factores que pueden afectar la transición a camiones de carga cero emisiones en el estado.

Los escenarios se construyen considerando las implicaciones de trayectorias alternativas para el problema central. Cada escenario se caracteriza mediante diferentes perspectivas, fuerzas impulsoras y direcciones de desarrollo futuro.

Se consideraron los tres escenarios siguientes:

- **Escenario acelerado:** Representa un paquete completo de apoyo gubernamental tanto en los lados de oferta como de demanda para las

empresas de Baja California hasta el año 2050. Incluye exención de impuestos individuales y corporativos en los Estados Unidos y el acceso a los programas de apoyo en California. Los camiones de carga cero emisiones se establecen como parte de la agenda de sustentabilidad. Los camiones de carga cero emisiones se consideran una opción clave para abordar el problema de la contaminación del aire en la región.

El mercado está impulsado por el requerimiento gubernamental de California y eventualmente de Baja California. La industria automotriz en Baja California se transforma rápidamente de componentes de motores de combustión interna a exportadora de componentes de vehículos cero emisiones.

La oferta de tecnología e impulso a la transición del sector transporte cero emisiones en California promueve el desarrollo de este sector en Baja California.

- **Escenario promedio:** Representa las acciones actuales de apoyo gubernamental a los camiones de carga cero emisiones en Baja California. Se basa principalmente en incentivos directos a los fabricantes de automóviles, como impuestos descontados, privilegios promocionales en la inversión, sin adicionar otros esquemas de apoyo en el lado del consumidor. La infraestructura de carga pública para vehículos cero emisiones se introducen individualmente por el sector privado, lo que resulta en una baja proporción de estas estaciones de carga públicas por unidad cero emisiones. El mercado está impulsado por el interés individual y limitado por el poder adquisitivo. La reducción en participación dentro de la industria de motores de combustión interna

En colaboración con:

restringe la incidencia en la industria de los vehículos cero emisiones.

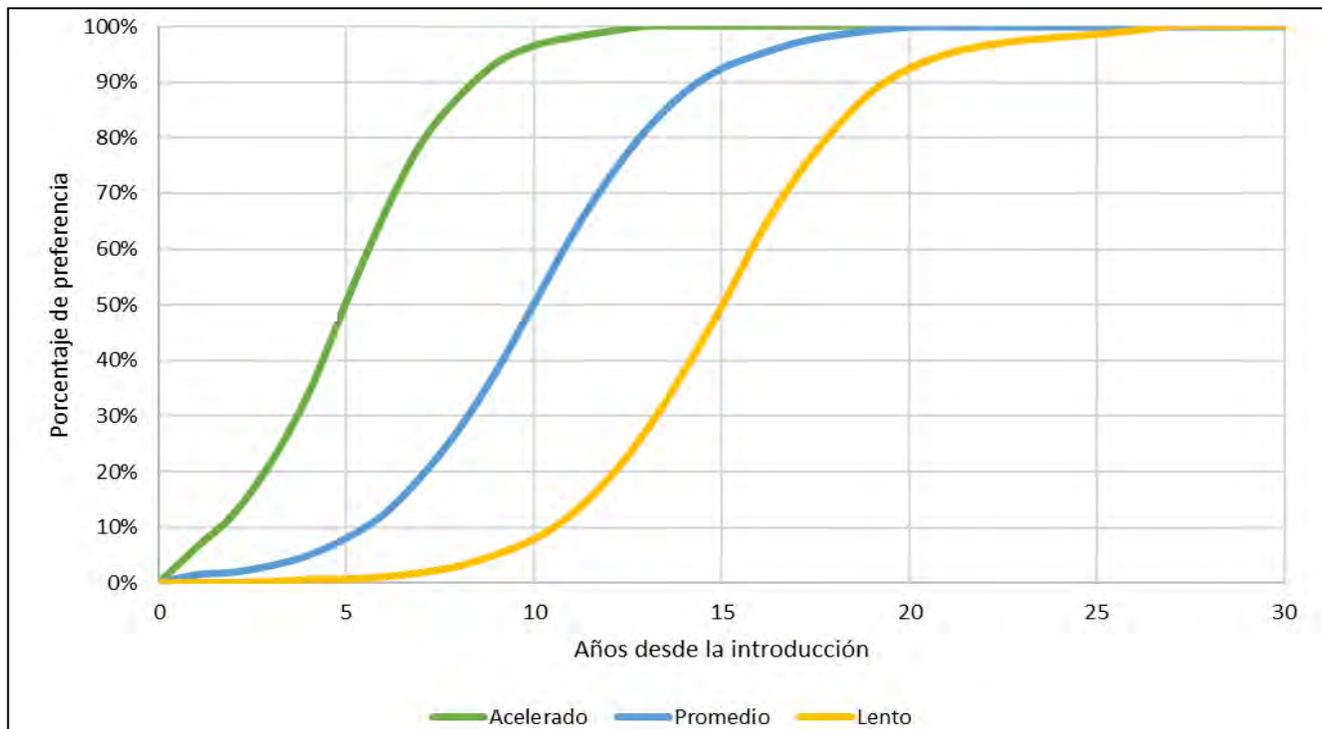
- **Escenario lento:** Este escenario representa una política contraria a la proactividad gubernamental de California y una total restricción en el acceso a los programas de apoyo de California para las empresas con operaciones binacionales; no se implementan medidas significativas de apoyo a los vehículos cero emisiones.
- Bajo este escenario no se aplican exenciones fiscales ni incentivos significativos para los fabricantes o los consumidores de Baja California. La infraestructura de carga pública no recibe atención especial. En este escenario, se espera una adopción limitada de vehículos cero emisiones, con la industria automotriz manteniendo en gran medida su enfoque en los vehículos de combustión interna.

Para realizar las proyecciones de los tres escenarios se utilizó el factor de preferencia de flotas, como se aprecia en la Figura 40. En esta se presentan tres curvas que ilustran el tiempo necesario para que los propietarios de flotas lleguen a un 50% de preferencia de compra [22], considerando los escenarios acelerado, promedio y lento descritos anteriormente.

A medida que las organizaciones se familiaricen más con los beneficios de la nueva tecnología, la preferencia de compra aumentará, inclinándose hacia las nuevas tecnologías en lugar de las tradicionales.

Por ejemplo, según el escenario acelerado, los propietarios de flotas tardarán cinco años en alcanzar un factor de preferencia de 0.5, lo que significa que el 50% de las flotas sean adquiridas bajo las nuevas tecnologías [22].

Figura 40. Factor de preferencia para los escenarios acelerado, promedio y lento. Modificado de [22].



9.2.1 Crecimiento de unidades cero emisiones

Para la proyección del crecimiento de unidades cero emisiones en los distintos escenarios, se parte del incremento porcentual promedio de unidades motrices de Baja California, según datos anuales de la SICT [7]. Para ello se consideró un promedio de los últimos 10 años del registro del parque vehicular.

Con los incrementos porcentuales anuales de las unidades de camiones de carga (C-2, C-3, T-2 y T-3, según la clasificación de la SICT), que es del 3.92%, y en función del porcentaje de adopción de los distintos escenarios, se estimaron las nuevas adquisiciones de camiones de carga que entrarían al parque vehicular de Baja California y cuantas de ellas serían cero emisiones.

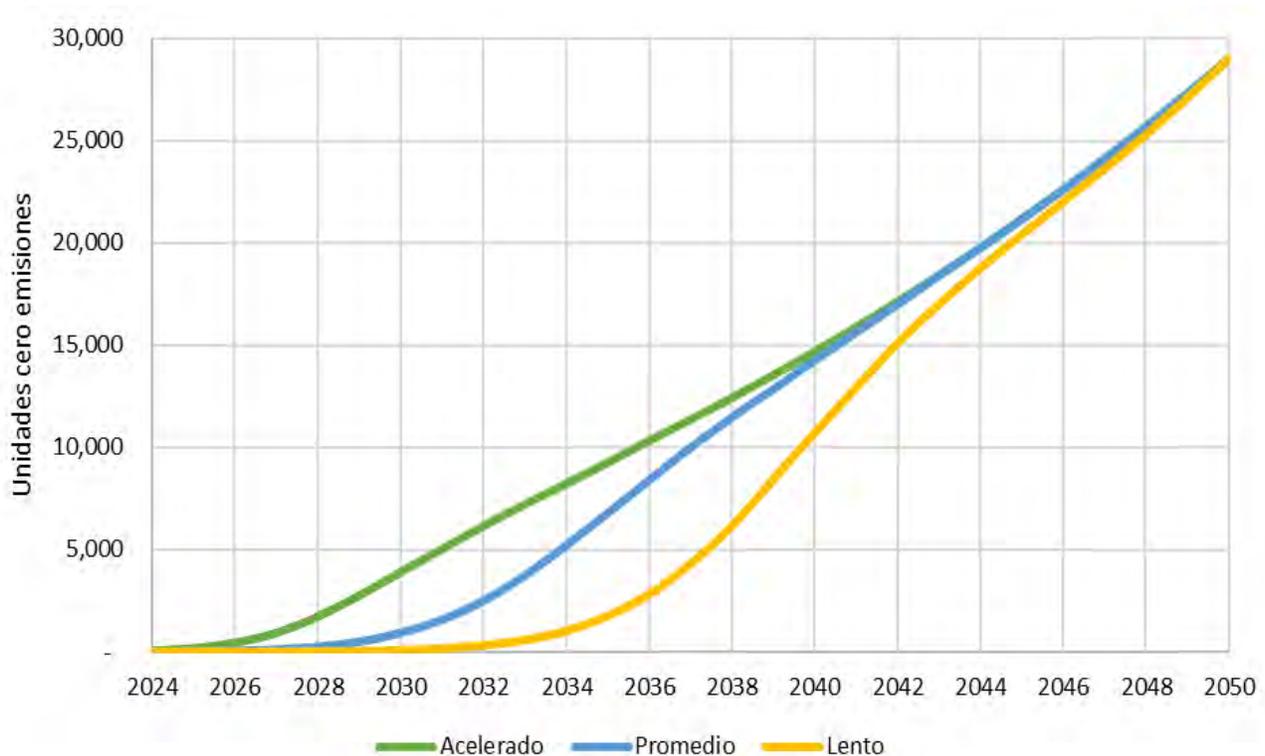
En la Figura 41 se pueden apreciar las unidades cero emisiones que se incorporarían en Baja California para el periodo del 2024-2050, considerando los tres escenarios.

Para el caso del escenario acelerado se proyecta una incorporación de 7,457 unidades cero emisiones durante los próximos 10 años (2034), correspondiente a un 30.8% del parque vehicular total de camiones de carga estimado para ese año (ver Figura 42).

Bajo este escenario, denominado acelerado, a partir del año 2036 todas las nuevas incorporaciones de camiones de carga en Baja California serían cero emisiones. En el escenario promedio se proyectan 3,744 unidades cero emisiones para los próximos 10 años, mientras que para el escenario lento se estiman 583 unidades.

Para el año 2043 se proyecta que, bajo el escenario promedio, el 100% de las nuevas incorporaciones de camiones de carga sean cero emisiones, mientras que para el escenario lento ocurriría en el año 2050.

Figura 41.. Unidades cero emisiones que se incorporarían en Baja California para el periodo del 2024-2050, considerando los tres escenarios.



Para este último año se contaría con un 63% de camiones de carga cero emisiones del total de los registrados en el estado para todos los escenarios, equivalentes a un total de 29,010 unidades cero emisiones de las 44,914 unidades que se tienen proyectadas que estarán registradas para ese mismo año.

El porcentaje de unidades cero emisiones no llega a ser el 100% de la flota total ya que se consideran solamente las nuevas adquisiciones anuales como unidades cero emisiones, en función del porcentaje del escenario en cuestión.

9.2.2 Consumo de energía eléctrica

Relativo al consumo de energía derivado de los tres escenarios del contexto estatal, para el escenario acelerado se tiene proyectado que en 10 años (2034) se tenga un incremento del 4.1% del consumo de energía eléctrica pronosticado en el estado debido a la incorporación de 7,457 unidades cero emisiones, mientras que para los escenarios promedio y lento se proyecta un

incremento del 2.5% y 0.5%, respectivamente. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 43. Para el año 2042 el consumo de energía eléctrica para los escenarios acelerado y promedio se proyectan sean aproximados a los 1,880 GWh anuales, un 6.5% más de consumo de energía de lo proyectado para el estado.

A partir del año 2050 los consumos de energía anuales para los camiones de transporte de carga cero emisiones en Baja California serían iguales para los tres escenarios, siendo de 3,192 GWh extras a los 37,953 GWh que se tiene proyectados en el estado para ese año.

Lo anterior representa un incremento en el consumo del 8.4% a lo pronosticado por CFE para el 2050.

El incremento porcentual de demanda de energía eléctrica que se proyecta debido a la transición del sector transporte de carga a cero emisiones es aunado al incremento estimado anual de CFE para Baja California, por lo que será de suma importancia considerar el consumo derivado de las recargas de los camiones de transporte de carga cero

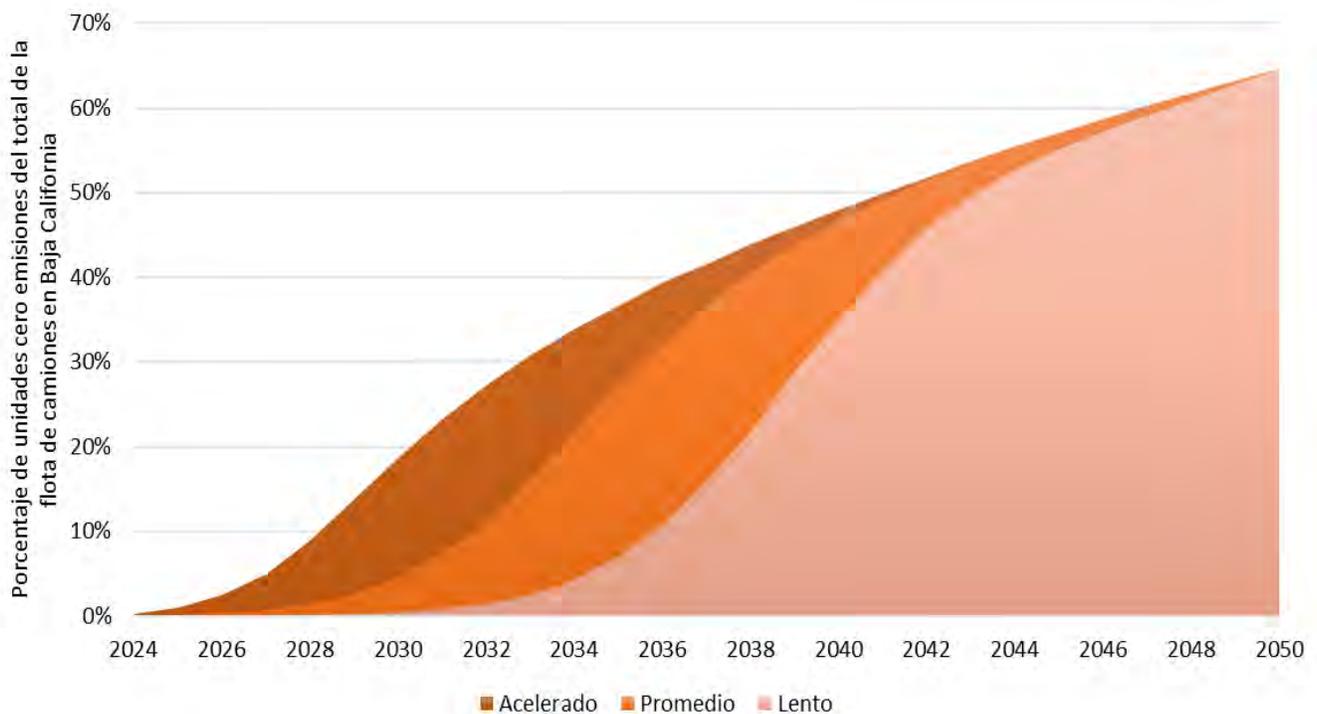


Figura 42. Porcentaje de unidades cero emisiones del total de la flota de camiones en Baja California para el periodo del 2024-2050, considerando los tres escenarios.

emisiones en la planificación de infraestructura eléctrica en el estado.

9.2.3 Reducción de emisiones CO₂e

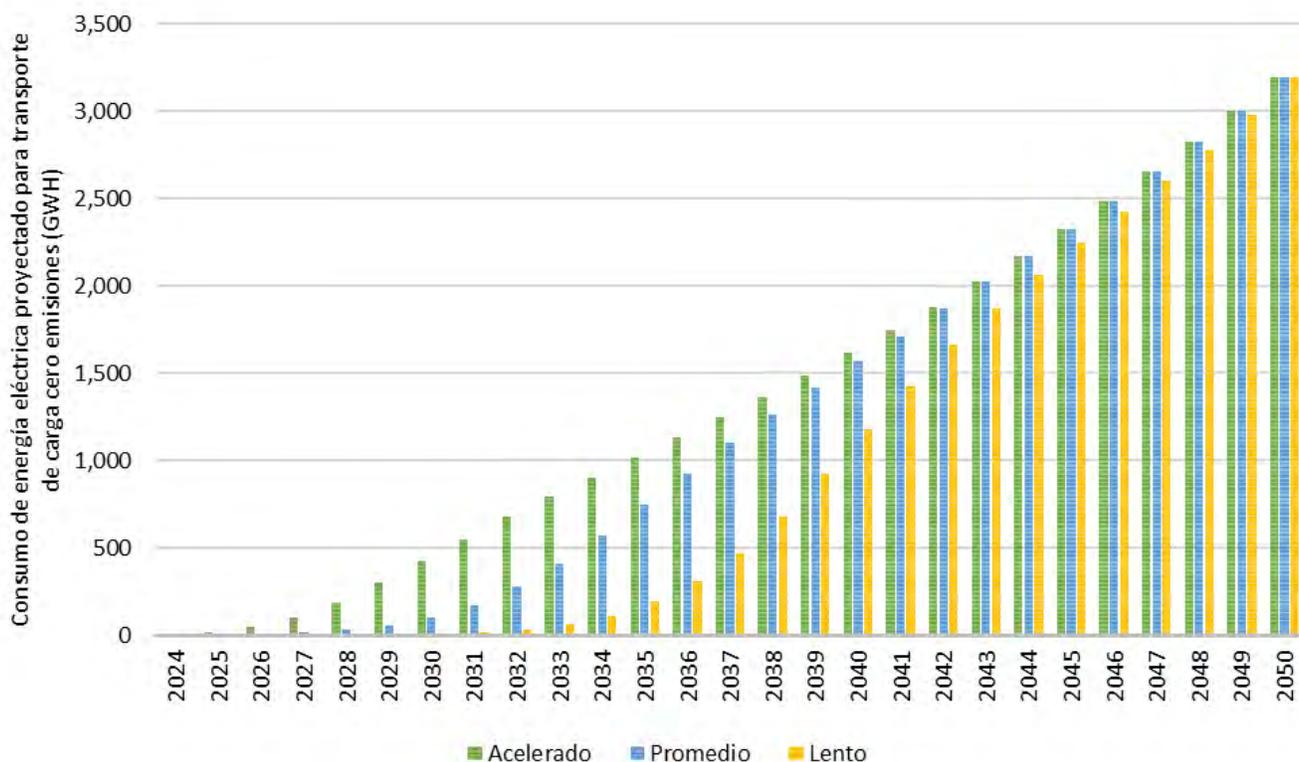
Por otro lado, en cuanto a la reducción de GEI debido a la transición del sector transporte de carga a cero emisiones en Baja California, dentro de 10 años (2034) se proyectan disminuciones de 0.75, 0.48 y 0.09 millones de toneladas de CO₂e anuales para los escenarios acelerado, promedio y lento, respectivamente.

Lo anterior se puede apreciar en la Figura 44. Acumuladamente, en los próximos 10 años se proyectan reducciones de 3.31, 1.37 y 0.21 millones de toneladas de CO₂e para los escenarios acelerado, promedio y lento, respectivamente.

Para el año 2042 las reducciones de emisiones para los escenarios acelerado y promedio serían similares, con 1.56 millones de toneladas de CO₂e reducidas anualmente, por 1.37 millones de toneladas de CO₂e para el escenario lento.

Para el año 2050 se estiman reducciones anuales similares para los tres escenarios, con 2.64 millones de toneladas de CO₂e reducidas. Así también, para el escenario acelerado, se estima que para el 2050 se retirarán 29.9 millones de toneladas de CO₂e considerando todo el periodo de transición analizado (2024-2050), mientras que para los escenarios promedio y lento se proyectan 27.2 y 22.5 millones de toneladas de CO₂e reducidas acumuladamente en ese periodo de tiempo.

Figura 43. Consumo de energía eléctrica proyectado en Baja California para el periodo de 2024-2050, considerando los tres escenarios.



9.3 Análisis de escenarios de proyección

La información del análisis de escenarios de transición hacia un sector transporte de carga cero emisiones en Baja California es crucial para la planificación, ya que permite anticipar la demanda energética y la infraestructura necesaria, como estaciones de carga y redes eléctricas, para soportar el incremento de hasta 41,700 unidades eléctricas para 2050 en el escenario regulatorio de California.

Además, proporciona una base sólida para el desarrollo de políticas locales y programas de incentivos económicos, como subsidios y exenciones fiscales, que fomenten la adopción de vehículos eléctricos.

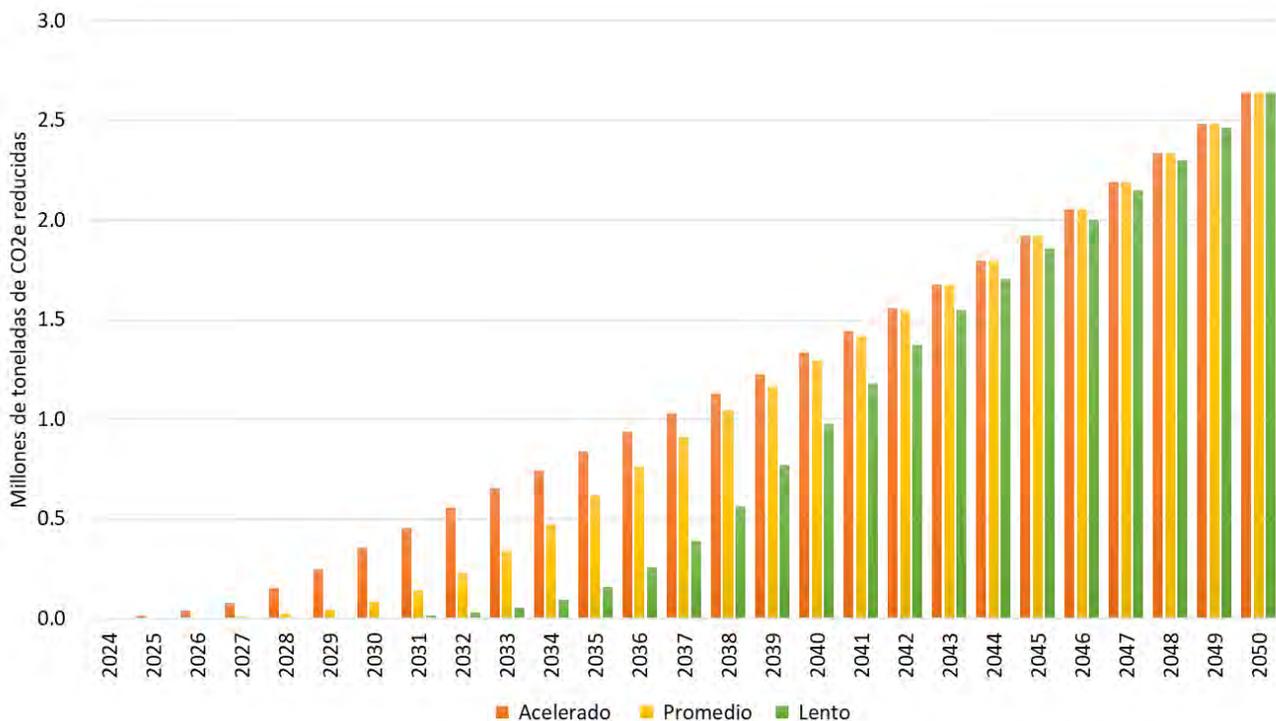
Es de suma importancia considerar la incorporación proyectada en Baja California de nuevas unidades de camiones de carga cero

emisiones en la modalidad *transfer*, bajo el escenario regulatorio del ACF, ya que este calendario de transición impuesto en California obligará a adoptar medidas en el corto plazo en nuestro estado para seguir siendo competitivos y no quedar fuera del mercado de transporte de carga transfronterizo.

Esto abre la puerta a nuevas inversiones en Baja California, tanto de infraestructura eléctrica requerida para la transición, como toda industria relacionada a la cadena de suministro para la fabricación de camiones cero emisiones.

Los datos proyectados de reducción de emisiones de CO₂e, con una disminución acumulada de hasta 44.6 millones de toneladas entre 2024 y 2050, contribuye a que Baja California alcance sus metas ambientales y se posicione como líder en sostenibilidad y tecnología avanzada en el transporte de carga.

Figura 44. Reducción de emisiones de CO₂e en Baja California en millones de toneladas anuales para el periodo de 2024-2050, considerando los tres escenarios.



10. Elementos para una transición a cero emisiones en Baja California

La transición hacia un sector transporte de carga cero emisiones en Baja California presenta una serie de retos, aunados a los que ya se describieron anteriormente, que deben de ser considerados para asegurar que esta transición se realiza de forma equitativa, adecuada y sostenible para todas las partes involucradas.

10.1 Cooperación binacional en material de movilidad cero emisiones

El estado de California es referencia para la adopción de vehículos cero emisiones en Estados Unidos, y está acumulando una gran cantidad de conocimientos y experiencias que pueden ser de gran valor para otras regiones.

California cuenta con una amplia gama de políticas e incentivos que han impulsado la adopción de vehículos cero emisiones, los cuales deberían ser plenamente elegibles para los grupos de transportistas binacionales que California considera en el grupo de alta prioridad.

Además, California tiene una infraestructura de carga más desarrollada, que facilita el despliegue de la electromovilidad. Derivado de la dinámica binacional, las flotas con actividad transfronteriza serán usuarias de dicha infraestructura y el estado puede aprovechar la experiencia de California en la materia para reducir su curva de aprendizaje y aprender de las lecciones de lo que resulte más efectivo en California para adaptarlo posteriormente al contexto local.

10.2 Diseño de estímulos para la movilidad cero emisiones en Baja California

Baja California dispone en la actualidad de los estímulos de los que ofrece el gobierno a nivel nacional que pueden ser complementados localmente en pro de impulsar al sector de autotransporte de la entidad y en el entendimiento de sus operaciones transfronterizas.

La referencia expresada por las empresas participantes en la encuesta se circunscribe a lo que se ha implementado en California, sin embargo, existe amplio espacio para adecuar, transferir, extender el campo de aplicación en el marco de acuerdos de cooperación y tomar lecciones de otras regiones.

Algunos de los estímulos que pueden ser benéficos, tanto para las organizaciones transportistas como para las instituciones públicas, incluyen:

- Beneficios en las cuotas de revalidación de tarjeta de circulación.
- Beneficios en espacios públicos (estacionamientos, libramientos, áreas solo para vehículos cero emisiones).
- Incentivos fiscales para la adquisición de vehículos cero emisiones y su infraestructura de carga.
- Programas de subsidios y financiamiento a bajo interés para la compra de camiones cero emisiones y la construcción de estaciones de carga.
- Programas que incentiven la chatarrización de unidades de combustibles tradicionales ante el reemplazo con unidades cero emisiones.

10.3 Promoción de regulaciones en el estado

La promoción de reglamentos y programas de fomento desde el gobierno estatal es fundamental para fomentar la transición a vehículos de cero emisiones en Baja California acorde a las premisas y prioridades propias de la entidad.

Desde el ámbito de las leyes y reglamentos, es por ejemplo posible el establecimiento de estándares de emisiones más estrictos, un propio esquema de calendario de transición y grupos críticos de unidades acorde a cada región del estado y uso de los vehículos.

En alineación con la federación, los programas pueden ofrecer subsidios o incentivos fiscales para la compra de vehículos de cero emisiones, y las regulaciones pueden requerir la infraestructura de carga necesaria en nuevos desarrollos. Estas políticas pueden ayudar a crear un entorno de mercado predecible, lo cual es de utilidad para el desarrollo del sector de la movilidad eléctrica.

La adopción proactiva de leyes y programas que respalden la movilidad cero emisiones no solo beneficia el entorno local, sino que también puede tener impactos positivos en términos de atracción de inversiones, desarrollo económico y reputación ambiental.

En última instancia, la acción gubernamental puede desempeñar un papel clave en la aceleración de la transición hacia un transporte más limpio y sostenible mediante las siguientes acciones:

- Adecuación de leyes y reglamentos para que establezcan metas para la expansión de la infraestructura de recarga y transición de flotillas.
- Otorgamiento de incentivos a los propietarios de vehículos cero emisiones y a los desarrolladores de infraestructura de recarga.

- Apoyos en la forma de información y asistencia técnica (asesoría, capacitación, realización de estudios) para las empresas en los periodos de transición.
- Articulación de los esfuerzos de las empresas, organizaciones gremiales, administración pública y academia.
- Acción directa en el despliegue de infraestructura de recarga.
- Participación en los procesos de transición migrando las flotillas propias.
- Gestión ante otras autoridades nacionales e internacionales.
- Vinculación con expertos e instituciones de las que se pueda transferir conocimiento y experiencia.

La propuesta de un mapa de ruta elaborado por la Secretaría de Economía e Innovación del Gobierno del estado proporciona un instrumento de gestión y de coordinación entre los actores sujeto a ajustes en el tiempo, dado que el presente reporte refleja la situación en un momento en el cual diversas variables relacionadas a la transición guardan cierto grado de incertidumbre, particularmente desde la perspectiva de CARB en California, se hace referencia a que la exigencia rigurosa de cumplimiento en tiempos no será implementada, sin embargo los compromisos en el calendario no han sido modificados.

10.4 Desarrollo de infraestructura de recarga pública

La infraestructura de recarga eléctrica y de hidrógeno es un componente esencial para la transición a vehículos de cero emisiones. La iniciativa privada y los gobiernos juegan un papel crucial en el desarrollo de la infraestructura, ya que su colaboración puede

En colaboración con:

acelerar la adopción de tecnologías limpias y sostenibles.

Esta infraestructura alivia las preocupaciones sobre la autonomía de los vehículos, además, una red robusta de estaciones de recarga puede facilitar el uso diario de vehículos eléctricos, haciéndolos más atractivos para los usuarios.

La infraestructura de recarga es especialmente importante para los camiones de carga de larga distancia y transfronterizos. La implementación de corredores con estaciones de recarga, como los que podrían desarrollarse entre Baja California y California, permitiría a estos vehículos operar de manera eficiente. Estos corredores garantizan la disponibilidad de abasto, mejorando la productividad y la competitividad del sector transporte. Asimismo, la infraestructura adecuada puede minimizar las interrupciones operativas y mejorar la planificación logística, lo cual es esencial para las operaciones de transporte de carga.

Al desarrollarse la infraestructura de recarga, los gobiernos pueden estimular la demanda de vehículos de cero emisiones, apoyando la creación de empleo en sectores relacionados como la construcción, mantenimiento y operación de estaciones.

La colaboración entre los sectores público y privado es esencial para el desarrollo de proyectos de infraestructura de recarga, ya que cada sector aporta recursos y capacidades complementarias.

Los gobiernos pueden ofrecer incentivos, subsidios y establecer normativas favorables, mientras que el sector privado puede aportar inversión, innovación y eficiencia operativa. Esta sinergia permite una implementación más rápida y eficiente de la infraestructura necesaria, reduciendo costos y asegurando una red de recarga robusta y accesible.

La colaboración entre los gobiernos estatales de Baja California y California es fundamental para el desarrollo de infraestructura de recarga

eléctrica y de hidrógeno para vehículos cero emisiones, así como corredores con estaciones de recarga para camiones de carga de largas distancias y transfronterizas. Esta colaboración permitiría a ambos estados aprovechar las ventajas de la economía de escala, reducir los costos de desarrollo de la infraestructura y asegurar una red de recarga coherente y eficiente a lo largo de sus territorios.

Considerando lo anterior, en la Tabla 33 se presenta en resumen las situaciones que requieren de atención especial dentro de la transición a la movilidad cero emisiones en el estado, así como posibles alternativas y/o soluciones.

Tabla 33. Resumen de situaciones de atención especial y sus posibles alternativas

Situación de atención	Alternativas
Financiamiento	<p>La transición a vehículos de carga cero emisiones enfrenta altos costos iniciales. Para mitigar estos desafíos, se pueden disponer de incentivos y/o subsidios gubernamentales, programas de financiamiento a bajo interés, y modelos de negocio flexibles como el arrendamiento operativo.</p> <p>La colaboración público-privada en inversiones, junto con programas de ahorro y eficiencia operativa, puede facilitar el acceso a capital y reducir la carga financiera, acelerando la adopción de tecnologías sostenibles en Baja California.</p>
Disponibilidad tecnológica	<p>La disponibilidad comercial de vehículos de carga cero emisiones puede ser limitada debido a la producción y distribución en etapas tempranas. Para abordar esto, se pueden establecer alianzas con fabricantes para garantizar el suministro adecuado, incentivar la inversión en producción local de vehículos de tecnologías limpias y promover la investigación y desarrollo en torno a estas tecnologías.</p> <p>La implementación de programas de capacitación técnica para operadores y mecánicos asegurará que haya suficiente personal capacitado para manejar y mantener estos nuevos vehículos.</p>
Infraestructura de recarga	<p>La infraestructura de recarga requiere inversiones en estaciones de carga rápida. Para abordar esto, se pueden implementar incentivos gubernamentales para la instalación de infraestructura, fomentar la colaboración público-privada para compartir costos, y desarrollar un plan de despliegue de estaciones de carga en puntos clave.</p>
Problemas de adopción	<p>La adopción de camiones de carga cero emisiones enfrenta problemas como la resistencia al cambio debido a la familiaridad con los vehículos tradicionales, preocupaciones sobre el rendimiento y la autonomía de los vehículos cero emisiones, y la falta de infraestructura de soporte.</p> <p>Para superar estos obstáculos, es esencial ofrecer sesiones informativas, proporcionar incentivos, y demostrar casos exitosos de adopción.</p>
Normatividad	<p>Establecer marcos regulatorios claros y coherentes al contexto de implementación, fomentar la colaboración binacional para asegurar la compatibilidad de normativas, y ofrecer directrices específicas para la implementación.</p> <p>Consultar a las partes interesadas en el proceso de creación de normas para que las regulaciones sean prácticas y efectivas en promover la adopción de tecnologías limpias.</p>
Adopción y cambio tecnológico	<p>Al tratarse de tecnologías en una etapa de expansión, es de esperarse que con el tiempo y su maduración estas sean más asequibles en costo y facilidad de implementación técnica. El estado de California al buscar ser pionero en adopción asume los sobrecostos de ello; para Baja California un escenario de seguidor temprano puede proporcionar las ventajas de la implementación de nuevas tecnologías a la vez que no se asume el sobrecosto.</p>
Abasto de energía	<p>Para lograr una transición totalmente limpia en el transporte de carga, es fundamental que la energía eléctrica utilizada para recargar los camiones sea de fuentes cero emisiones, como la solar, eólica, hidroeléctrica o geotérmica.</p> <p>Esto implica no solo la adopción de vehículos eléctricos, sino también el desarrollo de una infraestructura de carga alimentada exclusivamente por energías renovables, por lo que</p>

En colaboración con:

11. Conclusiones

El análisis del panorama sobre la transición a la movilidad cero emisiones en el sector de transporte de carga en Baja California, catalizado por las regulaciones ambiciosas de California para la descarbonización de este sector, revela una serie de hallazgos significativos.

La adopción de vehículos de carga cero emisiones en la región no solo responde a los requerimientos medioambientales, sino que también refleja una intención de impulsar el mercado de vehículos eléctricos.

La influencia directa de las regulaciones de California ha actuado como un impulsor clave, que promoverá la inversión en manufactura y venta de vehículos, infraestructura de recarga y generación de energía más limpia.

Inclusive para empresas de California, se identifican desafíos persistentes, como la necesidad de abordar la disponibilidad y asequibilidad de camiones de carga cero emisiones y la expansión continua de la infraestructura de recarga.

Dado que una porción significativa del sector de autotransporte de carga de Baja California opera de manera binacional (transfronteriza), estas empresas se encuentran sujetas al cumplimiento de la normatividad californiana en la medida que les resulte aplicable.

Para el gobierno de Baja California, el brindar soporte a estas empresas es un elemento de importancia en la competitividad no solo de quienes participan en el giro de autotransporte, sino del sector exportador en general, razón por la que el involucramiento de la Secretaría de Economía e Innovación en primera instancia es relevante.

Es claro que los tiempos y prioridades entre los dos estados son distintos; mientras que para California el acelerar la transición motivado por la calidad del aire reafirma una posición de liderazgo y activa el mercado de consumo; para

Baja California la inversión en infraestructura vial bajo el programa “Respira” incide de manera directa en las emisiones y a la vez mejora la calidad de vida de la ciudadanía en general al reducir los tiempos de traslado, la gestión por una aceleración de los cruces fronterizos; la transición gradual hacia nuevas tecnologías incluyendo combustibles como el gas natural, el diésel de menos emisiones (normatividad Euro 6 por ejemplo) y los vehículos híbridos forman parte de estas alternativas y una aproximación a la reducción de emisiones que permite sea financieramente más viable para todas las partes involucradas.

Es notable que para las empresas que ofrecen un servicio de *transfer*, las costosas inversiones en unidades de nueva tecnología y la infraestructura de recarga se vislumbra compleja cuando los tiempos de operación en que estas unidades se ven afectas por la suma de tiempos de recarga y tiempos de espera en línea en los cruces fronterizos. Se añade a lo anterior que, en el caso de camiones de carga eléctricos, el peso de las baterías reduce significativamente el peso útil de carga que puede transportarse debido a las restricciones de las vías carreteras.

Desde el frente comercial, se identifica que los modelos disponibles de camiones de carga eléctricos en México aún no satisfacen los requerimientos de autonomía de los transportistas transfronterizos, debido a que su rango no les permite realizar sus trayectos de ida y vuelta con una sola carga. El 57% de las organizaciones encuestadas realizan en mayor frecuencia viajes con distancias superiores a los 250 km.

Este panorama refleja la necesidad de tratar de manera diferenciada la situación que en California se demanda para una proporción del autotransporte de carga de Baja California, respecto al resto de las flotillas.

Las organizaciones transportistas señalan a los subsidios para la compra de camiones de carga cero emisiones como la opción que estaría más apegada a sus necesidades y expectativas, por

En colaboración con:

lo que se considera que dichos programas en el estado de California deben estar a la disposición de las empresas que operan dentro del resto de la normatividad californiana (Ej. Registro ante el departamento de transporte y posesión de placas del estado de California).

Si bien las acciones motivadas por la normatividad en California traerán un beneficio en términos de aprendizaje para Baja California, los esquemas de transición para México y Baja California serán distintos en tiempo y forma.

Considerando la disponibilidad tecnológica actual y a corto plazo para los vehículos cero emisiones, los camiones de carga que utilizan hidrógeno tienen aún otros retos para su implementación de manera que puedan cumplir con las regulaciones emitidas por el CARB.

Considerando la matriz energética de México y el rendimiento de los camiones eléctricos disponibles, la disminución de GEI por el cambio de camiones de carga diésel a eléctricos va desde un 22% hasta 47%.

A partir del estado actual de las subestaciones eléctricas y redes de distribución en Baja California, existen ubicaciones cercas de cruces fronterizos que resultan técnicamente viables para la instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos, ya sean públicas o privadas.

Dentro de las acciones para impulsar la transición en Baja California se pueden incluir los siguientes puntos:

- Comunicación directa a los afectados sobre regulaciones para vehículos cero emisiones en Estados Unidos.
- Leyes, programas y regulaciones específicas que fomenten la transición a vehículos cero emisiones en Baja California.

- Apoyos económicos directos y financiamiento accesible en la adquisición de vehículos cero emisiones y estaciones de carga.
- Capacitación de personal en instalación y mantenimiento de unidades, así como de estaciones de carga.
- Generación de un mapa de ruta para la transición del sector transporte de carga de Baja California a cero emisiones.
- Estudios de impacto en la reducción de GEI del sector transporte de carga cero emisiones considerando los escenarios de transición y la matriz energética de Baja California.
- Infraestructura de recarga pública y privada, como lo pueden ser estaciones de carga multimodales en ubicaciones clave.
- Esquemas de reúso, reciclaje y disposición final para baterías de vehículos eléctricos.
- Actualización de talleres mecánicos para brindar servicios de reparación, mantenimiento y conversión a trenes motrices eléctricos o de hidrogeno.

La comunicación directa con las autoridades, grupos de interés e investigadores de California permitirá asimilar las experiencias internacionales y adaptar mejores prácticas, con lo que Baja California puede acelerar su transición hacia la movilidad cero emisiones de una forma asertiva y establecerse como un líder en la región de México y América Latina.

En colaboración con:

Referencias

- [1] Baja California: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/baja-california-bc?redirect=true&timeNetTradeSelector=Year>.
- [2] World | Total including LUCF | Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990.
- [3] J. Quiros-Tortos, L. Victor-Gallardo, L. Ochoa, Electric Vehicles in Latin America: Slowly but Surely Toward a Clean Transport, IEEE Electrification Magazine 7 (2019) 22–32. <https://doi.org/10.1109/MELE.2019.2908791>.
- [4] Electromovilidad: transporte más limpio, seguro y eficiente - Energía para el Futuro. <https://blogs.iadb.org/energia/es/electromovilidad-transporte-mas-limpio-seguro-y-eficiente/>.
- [5] Los retos del futuro de la movilidad. <https://mexicoindustry.com/noticia/los-retos-del-futuro-de-la-movilidad>.
- [6] Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR), Agenda Económica del Autotransporte de Carga 2022, México, 2022.
- [7] C. y T. (SICT) Secretaría de Infraestructura, Estadísticas del transporte de carga por carretera 2021, 2022.
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Pesados, 2023.
- [9] Electric Vehicle Chargers in California. <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/zero-emission-vehicle-and-infrastructure-statistics/electric-vehicle>.
- [10] Light-Duty Vehicle Population in California. <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/zero-emission-vehicle-and-infrastructure-statistics/light-duty-vehicle>.
- [11] Zero-Emission Vehicle Program | California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program/about>.
- [12] Understanding California's Advanced Clean Truck Regulation - RMI. <https://rmi.org/understanding-californias-advanced-clean-truck-regulation/>.
- [13] Advanced Clean Fleets Regulation Summary | California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/advanced-clean-fleets-regulation-summary>.
- [14] Truck Replacement Program | Valley Air District. <https://ww2.valleyair.org/grants/truck-replacement-program/>.
- [15] Carl Moyer Program Guidelines | California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/guidelines-carl-moyer>.
- [16] Truck Loan Assistance Program | California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/truck-loan-assistance-program>.
- [17] Funding Updates - Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project | California HVIP. <https://californiahvip.org/funding/>.
- [18] EnergiIZE. <https://www.energiize.org/>.
- [19] Low Carbon Fuel Standard | California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard>.
- [20] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (Borrador), México, 2023.
- [21] México anuncia el incremento de sus compromisos climáticos en la COP 27. <https://imco.org.mx/mexico-anuncia-el-incremento-de-sus-compromisos-climaticos-en-la-cop-27/>.
- [22] B.M. Al-Alawi, O. MacDonnell Ricardo García Coyne Cristiano Façanha, Trayectorias tecnológicas y comerciales para la adopción de vehículos medianos y pesados de cero emisiones en México, 2023. www.globaldrivetozero.org.

- [23] C. Cunanan, M.K. Tran, Y. Lee, S. Kwok, V. Leung, M. Fowler, A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles, *Clean Technologies* 3 (2021) 474–489. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>.
- [24] Environmental Protection Agency., Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions. Green Vehicle Guide. <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions> (2021).
- [25] M.K. Tran, S. Sherman, E. Samadani, R. Vrolyk, D. Wong, M. Lowery, M. Fowler, Environmental and Economic Benefits of a Battery Electric Vehicle Powertrain with a Zinc–Air Range Extender in the Transition to Electric Vehicles, *Vehicles* 2 (2020) 398–412. <https://doi.org/10.3390/vehicles2030021>.
- [26] Alternative Fuels Data Center, Maps and Data—Vehicle Weight Classes & Categories, <https://afdc.energy.gov/data/10380> (2021). <https://afdc.energy.gov/data/10380>.
- [27] M.K. Tran, A. Mevawala, S. Panchal, K. Raahemifar, M. Fowler, R. Fraser, Effect of integrating the hysteresis component to the equivalent circuit model of Lithium-ion battery for dynamic and non-dynamic applications, *J Energy Storage* 32 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101785>.
- [28] M.K. Tran, M. Fowler, Sensor fault detection and isolation for degrading lithium-ion batteries in electric vehicles using parameter estimation with recursive least squares, *Batteries* 6 (2020). <https://doi.org/10.3390/batteries6010001>.
- [29] A. Mevawalla, S. Panchal, M.K. Tran, M. Fowler, R. Fraser, One dimensional fast computational partial differential model for heat transfer in lithium-ion batteries, *J Energy Storage* 37 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102471>.
- [30] International Energy Agency, Global EV Data Explorer, (2024). <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>.
- [31] CALSTART (2022), Drive to Zero's Zero-emission Technology Inventory (ZETI) Tool Version 8.0. <https://globaldrivetozero.org/tools/zero-emission-technology-inventory/>.
- [32] M.K. Tran, A. Bhatti, R. Vrolyk, D. Wong, S. Panchal, M. Fowler, R. Fraser, A review of range extenders in battery electric vehicles: Current progress and future perspectives, *World Electric Vehicle Journal* 12 (2021). <https://doi.org/10.3390/wevj12020054>.
- [33] N.P. Lutsey, M. Moultaq, Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles Developing hydrogen fueling infrastructure for fuel cell vehicles: A status update View project Electric vehicle cost View project, 2017. <https://www.researchgate.net/publication/320133685>.
- [34] G. Kalghatgi, Is it really the end of internal combustion engines and petroleum in transport?, *Appl Energy* 225 (2018) 965–974. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.076>.
- [35] X. Han, L. Lu, Y. Zheng, X. Feng, Z. Li, J. Li, M. Ouyang, A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle, *ETransportation* 1 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100005>.
- [36] N.P. Lutsey, M. Moultaq, Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles Update on global electric vehicle progress View project Europe city electric vehicle uptake View project, 2017. <https://www.researchgate.net/publication/320133685>.
- [37] M.R. Bernard, A. Tankou, H. Cui, P.-L. Ragon, Charging solutions for battery-electric trucks, 2022. www.theicct.orgcommunications@theicct.org.
- [38] L. Gerardo, S. Vela, M. De Jesús, F. Gallegos, J. Ricardo, H. Jiménez, O. Flores, C. David, V. Vega, M. Eliseo, C. Acevedo, Estado del arte de la movilidad eléctrica en México.
- [39] B. Chris Nelder, E. Rogers, C. Nelder, rmi.org Emily Rogers, Reducing EV charging infrastructure costs. <https://rmi.org/ev-charging-costs>.
- [40] S. De Apoyo, Agencia de financiación socios implementadores “Metrobús”: Líneas 3 y 4. 2022.
- [41] Y. Xie, T. Dallmann, R. Muncrief, Heavy-duty zero-emission vehicles Pace and opportunities for a rapid global transition, 2022.
- [42] SP-TCO-BETs-Europe-fact-sheet-v2-nov21.
- [43] EV charging connector types | Enel X Way. <https://www.enelxway.com/us/en/resources/blog/ev-charging-connector-types>.

En colaboración con:

- [44] P. Ahmadi, E. Kjeang, Realistic simulation of fuel economy and life cycle metrics for hydrogen fuel cell vehicles, *Int J Energy Res* 41 (2017) 714–727. <https://doi.org/10.1002/er.3672>.
- [45] C. Cunanan, M.K. Tran, Y. Lee, S. Kwok, V. Leung, M. Fowler, A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles, *Clean Technologies* 3 (2021) 474–489. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>.
- [46] L. Dubau, L. Castanheira, F. Maillard, M. Chatenet, O. Lottin, G. Maranzana, J. Dillet, A. Lamibrac, J.C. Perrin, E. Moukheiber, A. Elkaddouri, G. De Moor, C. Bas, L. Flandin, N. Caqué, A review of PEM fuel cell durability: Materials degradation, local heterogeneities of aging and possible mitigation strategies, *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ* 3 (2014) 540–560. <https://doi.org/10.1002/wene.113>.
- [47] A. Burke, A. Sinha, A. Kumar, UC Davis Research Reports Title Technology, Sustainability, and Marketing of Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Medium-Duty and Heavy-Duty Trucks and Buses Permalink <https://escholarship.org/uc/item/7s25d8bc> Publication Date Data Availability, (2020). <https://doi.org/10.7922/G2H993FJ>.
- [48] V. Vijayakumar, A. Jenn, J. Ogden, Modeling future hydrogen supply chains in the western United States under uncertainties: an optimization-based approach focusing on California as a hydrogen hub, *Sustain Energy Fuels* 7 (2023) 1223–1244. <https://doi.org/10.1039/d3se00043e>.
- [49] A. Albatayneh, A. Juaidi, M. Jaradat, F. Manzano-Agugliaro, Future of Electric and Hydrogen Cars and Trucks: An Overview, *Energies (Basel)* 16 (2023). <https://doi.org/10.3390/en16073230>.
- [50] International Energy Agency, *Global Hydrogen Review 2022*, 2022. www.iea.org/t&c/.
- [51] D. Apostolou, G. Xydis, A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure. Current status and future prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 113 (2019).
- [52] A. Burke, M. Miller, A. Sinha, E. Org, Title Evaluation of the Economics of Battery-Electric and Fuel Cell Trucks and Buses: Methods, Issues, and Results, 2022. <https://escholarship.org/uc/item/1g89p8dn>.
- [53] Smart Freight Centre, *Financing the transition to electric trucks-Framing paper for the start of a dialogue Financing the transition to electric trucks*, 2023.
- [54] Total cost of ownership of alternative powertrain technologies for Class 8 long-haul trucks in the United States - International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/tco-alt-powertrain-long-haul-trucks-us-apr23/>.
- [55] Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2022. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/807500/aviso_fesen_2022.pdf.
- [56] J.F. Mendoza Sánchez, A. Salazar Cortez, *Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México*, Sanfandila, Querétaro, 2014.
- [57] 7 pruebas de que el transporte con camiones eléctricos es viable. <https://www.caranddriver.com/es/movilidad>
- [58] T680E | Kenworth. <https://www.kenworth.com/trucks/t680e/>.
- [59] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <https://www.inegi.org.mx/>.
- [60] RSG, M. Fowler, T. Cherry, A. Richard, 2018–2019 California Vehicle Survey: Appendices, 2018. <https://www.energy.ca.gov>.
- [61] M. Fowler, T. Cherry, T. Adler, M. Bradley, A. Richard, California Energy Commission Consultant Report, 2015-2017 California Vehicle Survey, 2018. https://www.nrel.gov/transportation/secure-transportation-data/assets/pdfs/cec_2015-2017_california_vehicle_survey_report.pdf.
- [62] E. García, *Análisis del Parque Vehicular Camiones Medianos y Pesados en México*, 2021. https://www.amda.mx/wp-content/uploads/ev_vehicular_230314.pdf.
- [63] INEGI, *Cuestionario Anual para Empresas de Transporte y Mensajería*, 2020. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/eat/2013/doc/CEAT2021.pdf>.
- [64] California Air Resources Board, *Advanced Clean Fleets Regulation Summary*.
- [65] Air Quality Management District, *North Coast Unified, On-Road Heavy-Duty Voucher Incentive Program* (2023). <https://www.ncuaqmd.org/on-road-heavy-duty-voucher-incentive-program>.

En colaboración con:

- [66] California HVIP, Funding Updates - Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project.
- [67] California Air Resources Board, Truck Loan Assistance Program.
- [68] California Air Resources Board, Medium- and Heavy-Duty Fleet Zero-Emission Vehicle Purchasing Support (SB 372).
- [69] California Energy Commission, California Energy Commission, EnergiIZE Commercial Vehicles (MD/HD ZEV Infrastructure Incentive Block Grant Project) – Transit Set-Aside Funding Lane (2023). <https://www.energy.ca.gov/solicitations/2023-07/energiize-commercial-vehicles-mdhd-zev-infrastructure-incentive-block-grant-1>.
- [70] Nuevo Contrato. <https://www.cfe.mx/negocio/nuevocontrato/pages/electrolinasnegocio.aspx>.
- [71] Comisión Federal de Electricidad, Promoción de la electromovilidad sustentable. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1_CFE_DesarInfRecVE.pdf.
- [72] La CRE aprueba reglas que detonarán la instalación de electrolineras y FIBRAS. <https://www.gob.mx/cre/prensa/la-cre-aprueba-reglas-que-detonaran-la-instalacion-de-electrolineras-y-fibras?idiom=es>.
- [73] Primer Hub de Recarga Masiva para vehículos eléctricos de carga pesada – El Financiero. <https://www.elfinanciero.com.mx/transporte-y-movilidad/2023/07/05/primer-hub-de-recarga-masiva-para-vehiculos-electricos-de-carga-pesada/>.
- [74] Grupo Modelo inaugura estación de carga para vehículos eléctricos pesados | Revista TyT. <https://www.tyt.com.mx/nota/grupo-modelo-inaugura-estacion-de-carga-para-vehiculos-electricos-pesados>.
- [75] Vehículos y camiones eléctricos nuevos | MegaFlux. <https://www.megaflux.com/vehiculos-electricos/camiones-electricos-nuevos>.
- [76] Alianza Energética México-Alemania, Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación Tomo I: Contexto nacional e internacional del hidrógeno verde, n.d. www.energypartnership.mx.
- [77] Ventas de Vehículos Híbridos y Eléctricos1 – AMIA. <https://amia.com.mx/ventas-de-vehiculos-hibridos-y-electricos1/>.
- [78] Estaciones eléctricas de carga en México. <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=16K0GoFCcbCx65yIV3KypAUqucv0J5W3x&ll=32.64678001200369%2C-115.40731708448163&z=16>.
- [79] Alianza Energética México-Alemana, Prospectiva Energética: Hidrógeno Verde en Baja California, 2023.
- [80] Comisión Federal de Electricidad, Suministro de Energía Eléctrica Baja California (BCA), 2023.
- [81] Comisión Reguladora de Energía, Solicitudes de interconexión de centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW: estadísticas al segundo semestre de 2023, 2024.
- [82] Centro Nacional de Control de la Energía, Programa de Ampliación y Modernización de la RNT y RGD 2023 – 2037.
- [83] U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center, (2024). <https://afdc.energy.gov/data>.

En colaboración con:

Estado actual y necesidades para la electromovilidad del transporte de carga en Baja California

Julio 2024



Descarga este y otros reportes escaneando el código QR o en la página:

www.bajacalifornia.gob.mx/sei/Estadisticas



**BAJA
CALIFORNIA**
GOBIERNO DEL ESTADO

ECONOMÍA
Secretaría de Economía e Innovación