Estudio de Impacto

del Programa de Adquisición de Autobuses de Bajas Emisiones en la Región Fronteriza del Norte de México

Abril 2020

Este reporte es una compilación de los hallazgos, resultados y conclusiones de los informes en extenso de las cuatro secciones principales que integran el estudio de evaluación de impacto:

Calidad del Aire

Desarrollado por Consultoría en Ingeniería de Proyectos, S. de R.L. (CINPRO) bajo el Contrato NADBC-20-061.

Análisis de los Sistemas de Transporte Público

Desarrollado por Gerardo Juárez Mondragón y Rogelio Avendaño Verduzco bajo el Contrato NADBC NADBC-20-062.

Ciclo de Vida de las Unidades de Transporte Público

Desarrollado por Ángel García Barrientos bajo el Contrato NADBC-20-065.

Evaluación Socio Urbana y Percepción Ciudadana

Desarrollado por Gerardo Juárez Mondragón y Rogelio Avendaño Verduzco bajo el Contrato NADBC-20-062.

CONTENIDO

Contenido 2
I - Introducción 4
Antecedentes 4
Objetivo 5
Proyectos evaluados 5
Integración del estudio 6
Conclusiones 6
Generales 6
Calidad del aire 6
Sistemas de transporte público y marco legal 7
Ciclo de vida de los autobuses 8
Percepción pública 8
II - Calidad del Aire 9
Objetivo 9
Metodología 9
Calidad del aire en áreas urbanas 9
Indicadores 9
Índice de calidad del aire y salud 10
Tendencias de calidad del aire 12
Emisiones de fuentes móviles y su relación con el transporte público 13
Contexto de las emisiones de vehículos de combustión interna 13
Inventarios de fuentes móviles 14
Modelación MOVES 15
Monitoreo de contaminantes en Ciudad Juárez 16
Discusión de resultados 17
III - Sistemas de Transporte Público 20
Objetivo 20
Metodología 20
Contexto general urbano 20
Dimensión demográfica 20
Índice de competitividad urbana 21
Análisis de los sistemas de transporte público 21
Fuentes de información 21
Modelos de concesiones 22

Mecanismos de cobro electrónico 23
Unidades obsoletas 24
Marcos regulatorios de la renovación de unidades de transporte público 24
Infraestructura vial 25
BRT 26
Conclusiones 26
IV - Ciclo de Vida de los Vehículos de Transporte Público 28
Objetivo 28
Metodología 28
Sustitución y chatarrización 28
Chatarrización tradicional 28
Chatarrización institucional 28
Saturación 29
Normatividad de la chatarrización 30
Mercado de la sustitución de unidades de transporte público 30
Ciudades fronterizas limítrofes 30
Ciudades fronterizas del interior 30
Integración y madurez 31
Pavimentación 31
Estudio de caso en Ciudad Juárez 31
Experiencias internacionales en la chatarrización de vehículos 32
Conclusiones 33
V - Evaluación Socio-Urbana y Percepción Ciudadana 35
Objetivo 35
Metodología 35
Análisis de resultados 35
Hallazgos 39

I - INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La misión del Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) es proveer financiamiento y apoyos técnicos para apuntalar el desarrollo e implementación de proyectos de infraestructura ambiental que ayuden a preservar, proteger y mejorar el medio ambiente en la región fronteriza, para mejorar el bienestar de los habitantes de México y Estados Unidos.[1] Para alcanzar sus objetivos, el BDAN proporciona asistencia técnica para desarrollar proyectos de alta calidad, para apoyar la sustentabilidad de los mismos en el largo plazo y para facilitar el acceso al financiamiento del propio BDAN.

Los estudios de evaluación de impacto tienen como objetivo documentar los cambios en las condiciones ambientales y la calidad de vida de la población beneficiada por la implementación de los proyectos financiados por el BDAN. Las evaluaciones de impacto se insertan en la política institucional de medición de resultados, que conlleva la mejora continua de las estrategias, procedimientos y tareas del BDAN, y se realizan por mandato del Consejo Directivo desde el año 2014.

La figura siguiente ilustra el ciclo de vida de un proyecto, donde la evaluación de impactos representa el último paso de la medición de resultados, poniendo de manifiesto si el proyecto logró su objetivo fundamental, más allá de los resultados físicos.

Para el BDAN es importante determinar que los proyectos que certifica y financia operan según lo previsto y mejoran efectivamente el entorno ambiental y las condiciones de salud de los habitantes fronterizos. Los estudios de impacto son una herramienta esencial para comunicar resultados e identificar oportunidades de mejora, pero por su alto costo, solo se evalúan proyectos selectos comparando las condiciones de antes y de al menos un año después de su implementación, aunque el tiempo que toma que los beneficios sean evidentes puede variar de proyecto a proyecto.

A la fecha, el BDAN ha realizado cuatro estudios de evaluación de impacto de proyectos de infraestructura ambiental en el sector de manejo y tratamiento de agua potable y aguas residuales, a través de un proceso de generación de conocimiento progresivo. Los estudios en cuestión son: 1) Evaluación del impacto de la infraestructura de saneamiento básico en comunidades del Valle de Juárez, Chih.[2], 2) Evaluación del impacto de los proyectos de infraestructura de saneamiento en comunidades del estado de Baja California[3], 3) Evaluación del impacto de los proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades del Valle Bajo del Condado de El Paso, Texas[4] y 4) Evaluación del impacto transfronterizo de proyectos de saneamiento en la región de Ambos Nogales[5].

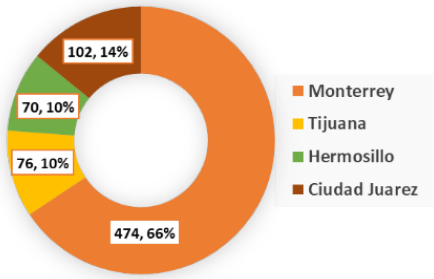
[1] http://www.nadbank.org/~nadborg/index.php?acc=contest&tpl=mission
[2] https://www.nadb.org/es/conocimientos-y-recursos/publicaciones-y-estudios/evaluacion-del-impacto-de-la-infraestructura-de-saneamiento-basico-en-comunidades-del-valle-de-juarez-chih-2013-2014
[3] http://www.becc.org/uploads/files/ia_factsheet_-_may_12_2016.pdf
[4] https://www.nadb.org/uploads/files/03_impact_assessment_lvwd_el_paso_eng_july_2017.pdf
[5] https://www.nadb.org/uploads/files/evaluacin_del_impacto_de_la_infraestructura_de_saneamiento_en_ambos_nogales_esp_oct_2019.pdf

Objetivo

El objetivo central del estudio fue evaluar el impacto del programa de sustitución de unidades de transporte público por vehículos de bajas emisiones en la frontera Norte de México, que se implementó con recursos financieros del BDAN en cuatro ciudades de la región fronteriza de México a partir de 2015, a través de la identificación de los posibles cambios experimentados en la calidad del aire, la movilidad urbana y la percepción de la calidad de vida de los residentes.

Proyectos evaluados

El programa para la adquisición de autobuses de bajas emisiones incluyó dos líneas de crédito revolvente del BDAN otorgadas a Mercader Financial, S.A., SOFOM, E.R.[6,7], con un monto acumulado a diciembre de 2020 de MX$1,711 millones de pesos, los cuales financiaron la adquisición de 722 vehículos de bajas emisiones para el transporte público en las áreas urbanas de Hermosillo, Sonora, Tijuana, Baja California, Ciudad Juárez, Chihuahua y la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, todas dentro de la franja fronteriza de México de 300 kilómetros; el costo promedio por unidad fue de MXUS$2.432 millones de pesos.



El 70% de las unidades financiadas por el programa (504) estaban originalmente etiquetadas para sustituir autobuses obsoletos, mientras que el 30% restante (218) eran para ampliar las rutas de servicio. En la práctica, solo 464 reemplazaron a unidades antiguas, sin tenerse registro del destino de los vehículos removidos del servicio.

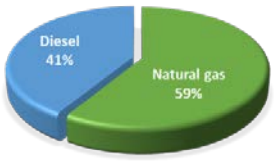
El programa ha mejorado el parque vehicular del transporte público de las ciudades fronterizas al facilitar la adquisición de unidades con tecnología de bajas emisiones y la sustitución de autobuses obsoletos y contaminantes, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes atmosféricos.

La colocación de unidades nuevas por municipios se resume en el siguiente cuadro:

Estado	Municipio	Unidades	Inversión $MX millones
Baja California	Tijuana	76	$132.18
Chihuahua	Ciudad Juárez	102	$254.60
Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)	Apodaca	106	$232.91
	Escobedo	102	$283.59
	García	77	$213.91
	Guadalupe	163	$363.74
	Monterrey	26	$62.15
Sonora	Hermosillo	70	$168.31
Total		**722**	**$1,711.38**

[6] Programa piloto de mejora del transporte público en la región fronteriza de México, http://server.cocef.org/CertProj/Spa/BD%202014-14%20Mercader%20PT%20Project%20Proposal%20(Span)_REV.pdf

[7] Programa para la adquisición de vehículos de bajas emisiones en la región fronteriza de México, http://server.cocef.org/CertProj/Spa/BD%202016-20%20Mercader%20Bus%20Program%202016%20(Span)_PUBLIC.pdf



Las 722 unidades colocadas por el programa son marca Dina, fabricadas en México, equipadas con motores Cummins ISM o ISL: 297 unidades (41%) son propulsadas con diésel y cumplen con el estándar de emisiones NOM-044-SEMARNAT-2006 (equivalente al estándar EPA-2004) y 425 (59%) funcionan con gas natural y cumplen con el estándar de emisiones EPA-2013[8].

Integración del estudio

El estudio de impacto se integró a partir de cuatro vertientes que abordan la problemática del transporte público en la frontera norte de México desde diferentes perspectivas, analizando la calidad del aire, los sistemas de transporte público urbano, el ciclo de vida de los vehículos de transporte público (*chatarrización*) y la percepción ciudadana sobre los resultados del programa.

Calidad del aire	Sistemas de transporte público y su marco Legal	Ciclo de vida de los autobuses	Percepción pública
Datos de monitoreo atmosférico y de emisiones contaminantes Monitoreo de la exposición a contaminantes (estudio de caso: Ciudad Juárez)	Características de los sistemas de transporte público Análisis de marcos reglamentarios y disposiciones en vigor	Investigación del ciclo de vida de los autobuses de transporte público, incluyendo los procesos de chatarrización	Evaluación del servicio recibido por los usuarios del transporte público

Conclusiones

Generales

- Se estima que el programa de sustitución de autobuses obsoletos por unidades de bajas emisiones en los sistemas de transporte público urbano de las ciudades fronterizas del norte de México ha tenido un impacto positivo en términos de reducción de emisiones contaminantes y de la buena percepción pública sobre la calidad del servicio que reciben los usuarios.
- En tanto que el transporte público es crítico para las actividades laborales y económicas de los habitantes fronterizos, es de vital importancia continuar impulsando la modernización tecnológica de las flotas en servicio.
- Se estima que en la actualidad circulan 15,201 unidades de transporte público urbano en las cuatro ciudades del estudio de impacto, de las cuales poco más de la mitad (7,930) son autobuses antiguos que no cumplen con la normatividad vigente. La inversión requerida para sustituir los autobuses obsoletos es del orden de MX$23,000 millones de pesos.

Calidad del aire

- Las unidades nuevas de bajas emisiones no han tenido un efecto medible en la calidad del aire a nivel global en las ciudades donde transitan, básicamente porque su número es muy reducido en comparación con el tamaño de las flotas de transporte público y otras fuentes de contaminación de cada ciudad estudiada.
- De los inventarios de emisiones disponibles para las cuatro ciudades del estudio, se desprende que entre 2013 y 2016 en todos los casos se incrementó la contribución por fuentes móviles de material particulado ($PM_{2.5}$), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV),

[8] Actualmente en México, para vehículos pesados a gas natural aplica la NOM-042-SEMARNAT-2003 y no existe un equivalente del estándar EPA-2013.

pudiendo deberse en parte a que las unidades de transporte público urbano con edad superior a 15 años operan sin control de emisiones y producen mayores cargas contaminantes por unidad.

- En todas las ciudades del estudio de impacto, las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} superan los límites de los criterios de salud pública de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y mantienen una tendencia al alta. El material particulado suspendido puede reducirse al cambiar los autobuses obsoletos por unidades nuevas de bajas emisiones, particularmente si son propulsadas por gas natural.
- Del monitoreo de campo efectuado en Ciudad Juárez se puede concluir que, independientemente del estado de conservación de las unidades en que viajan, los usuarios del transporte público están expuestos durante el trayecto a altas concentraciones de material particulado y otros contaminantes de importancia para la salud pública, cuyo origen puede encontrase en las diversas actividades cotidianas en el entorno de las rutas urbanas.
- Mediante modelación digital se estimaron las emisiones de las unidades de transporte introducidas por el programa, resultando significativamente menores que sus contrapartes antiguas: 44% menos partículas $PM_{2.5}$, 71% menos COV y 69% menos NO_2.
- En comparación con las emisiones que hubieran producido un número equivalente de autobuses antiguos en servicio, las 722 unidades colocadas por el programa evitaron 1,965 toneladas de NOx, 164 de $PM_{2.5}$ y 90 de COV. No obstante, las unidades nuevas propulsadas con gas natural emitieron 1,280 toneladas más de monóxido de carbono (CO) que si hubieran sido antiguas.
- La decisión de incorporar vehículos a diésel o gas natural comprimido en un sistema de transporte público dependerá de las condiciones de calidad del aire de la localidad, tomando en cuenta que, si hay un problema por material particulado la mejor opción serán los vehículos propulsados con gas natural, pero si la problemática es por CO y ozono (O_3), los vehículos a diésel serán la mejor opción.

Sistemas de transporte público y marco legal

- El marco legal vigente en México permite la implementación de programas de reemplazo de unidades obsoletas impulsados por los gobiernos, pero estos no son financiados de manera continua ni eficiente.
- No obstante, las leyes vigentes no tienen calado ni expresión alguna en leyes secundarias, ordenamientos municipales y programas operativos. Algunos reglamentos municipales autorizan el uso de autobuses antiguos en tanto pasen la verificación vehicular anual.
- La media del umbral de antigüedad para sustituir los autobuses obsoletos es en general de 10 años, pero en la práctica se toleran hasta más de 30 años.
- Entre los principales obstáculos para el reemplazo de autobuses antiguos se encuentran los modelos de concesiones que propician la fragmentación y poca capacidad económica de los proveedores, las bajas tarifas afectan la asequibilidad de autobuses nuevos, la falta de aplicación de los límites de antigüedad y de las condiciones operativas de las unidades y la falta de fondos para cubrir el valor de rescate como parte de los programas de chatarrización.
- Un área de oportunidad con múltiples beneficios es la que se refiere a la capacitación y profesionalización de los choferes, que puede propiciar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, menores costos de combustible y mantenimiento de las unidades y una mayor seguridad vial.

Ciclo de vida de los autobuses

- Hay obstáculos significativos para la adquisición de autobuses nuevos y para la chatarrización de autobuses antiguos y obsoletos, entre los que se cuentan las concesiones “hombre-camión”, las bajas tarifas fijadas por las autoridades locales, la gran oferta de autobuses escolares usados en Estados Unidos con precios muy económicos ($120 a $200 mil pesos por unidad), la facilidad para importar a la frontera (30 km de la línea fronteriza) unidades de transporte escolar con al menos diez años de antigüedad, la existencia de mercados secundarios de reuso y reciclaje de partes usadas que permiten el acceso a reparaciones de bajo costo que favorecen la movilidad de autobuses muy antiguos, etc.
- Una forma de impulsar la chatarrización es que los gobiernos apliquen fondos públicos para inducir la compra de autobuses nuevos, además de regular los mercados de reuso y reciclaje de refacciones usadas. Los incentivos gubernamentales pueden ser fiscales, económicos o de otro tipo de beneficios.
- Un programa exitoso de chatarrización requiere de un compromiso gubernamental en términos de aplicación de las regulaciones y de financiamiento.

Percepción pública

- El 87% de los usuarios de autobuses nuevos percibió una mejora en la calidad de sus viajes en los autobuses nuevos, considerando que el programa financiado por el BDAN es exitoso.
- Los usuarios perciben como más importante, antes que la sustitución de unidades antiguas por nuevas, que los choferes los traten con más cortesía, que tengan más pericia y precaución para manejar y que eviten aglomeraciones de pasajeros respetando el aforo del vehículo.

II - Calidad del Aire

Objetivo

Analizar el comportamiento de la calidad del aire en las áreas urbanas de Tijuana, Hermosillo, Ciudad Juárez y la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) y determinar el posible impacto de la implementación del programa de sustitución de unidades obsoletas de transporte público por vehículos nuevos de bajas emisiones.

Metodología

Se analizó la información generada por la red de Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire (SMCA) regulados por la NOM-156-SEMARNAT[9], por los sistemas satelitales NASA-Giovanni[10] y por el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM). Adicionalmente, se efectuó un análisis comparativo de emisiones mediante el simulador MOVES[11] y se realizó un ejercicio de monitoreo de exposición a contaminantes en los usuarios del transporte público de Ciudad Juárez.

Calidad del aire en áreas urbanas

Para documentar la calidad del aire y sus tendencias en las ciudades del estudio de impacto, se recurrió a la información proporcionada por los SMCA,[12,13,14] disponible de 2010 a 2019 y a las mediciones satelitales de parámetros de calidad del aire publicadas por el sistema NASA-Giovanni.

La información de los SMCA permite analizar el comportamiento temporal de la calidad del aire de una localidad, pero no existe información completa de 2010 a 2019 en todas las ciudades, dificultando su comparación, por lo que se utilizaron los registros de NASA-Giovanni de enero de 2010 a diciembre de 2019 para establecer las tendencias de las concentraciones de CO, NO_2 y $PM_{2.5}$, todos de gran importancia para la salud pública por sus impactos nocivos.

Indicadores

De acuerdo con las NOM de salud ambiental, la calidad del aire de una localidad se evalúa anualmente con la información de al menos tres trimestres de todas sus estaciones de monitoreo, comparando los promedios anuales con el valor o criterio de referencia del parámetro correspondiente. De esta forma, pueden identificarse los parámetros que rebasan los criterios de salud pública en un momento determinado e inferir los impactos y consecuencias sobre la población expuesta. Los parámetros que se reportan con mayor consistencia a través del tiempo en las ciudades del estudio de impacto[15] son monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (NO_2) y material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

- El CO que producen las fuentes de combustión estacionarias se oxida a CO_2 mientras se dispersa en el aire y solo es significativo muy cerca de la fuente, por lo que la mayor parte del CO en el aire ambiente proviene de los gases de escape de los vehículos automotores, que no "queman" completamente el combustible a CO_2 y agua, y tiende a acumularse en áreas de tráfico pesado,

[9] Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-156-semarnat-2012.
[10] https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/
[11] MOtor Vehicle Emission Simulator (MOVES). Versiones MOVES3-Estados Unidos, https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves, y MOVES 2014a-México, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/427685/INFORME_FINAL_MOVES-IE2016f.pdf
[12] (INECCa, 2018). Verificación de datos y generación de indicadores de la calidad del aire en ciudades mexicanas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/370495/Reporte_Final_INECC-LPN-007_2017_vINECC_para_pagina__3_.pdf
[13] (INECCb, 2018) Informe nacional de calidad del aire 2017. https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2017.pdf
[14] (INECCc, 2019) Informe nacional de la calidad del aire 2018. https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2018.pdf
[15] Hermosillo carece de un sistema de monitoreo y no cumple con la NOM-156-SEMARNAT-2012.

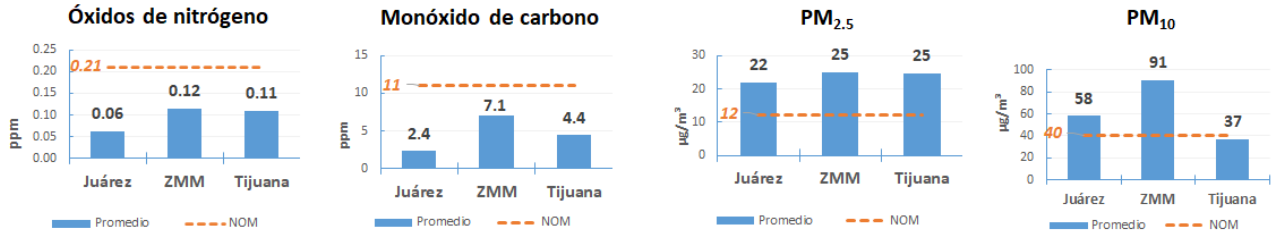
en lotes de estacionamiento y dentro de talleres y cobertizos. El CO puede ser precursor de CO_2 y O_3, dos importantes gases de efecto invernadero

- Los óxidos de nitrógeno son precursores de la formación de ozono, smog y partículas finas a nivel del suelo. Además, respirar altas concentraciones de óxidos de nitrógeno puede producir rápidamente quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos de la garganta y las vías respiratorias superiores, reducción de la oxigenación de los tejidos corporales, acumulación de líquido en los pulmones y la muerte.
- Las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} se pueden acumular en el sistema respiratorio y están asociadas, con una gran consistencia científica, a numerosos efectos negativos sobre la salud, incluyendo el aumento de enfermedades pulmonares y cardiacas, exacerbación del asma y bronquitis, posiblemente cáncer[16], muertes prematuras e ingresos a servicios hospitalarios de emergencia.

La figura 1 presenta los valores promedio anuales de los parámetros anteriores para el periodo 2010 a 2019, indicando con una línea roja el criterio de salud aplicable en cada caso.

Figura 1 – Cumplimiento de las NOM de Salud Ambiental

Concentraciones medias anuales 2010-2019



Datos de calidad del aire de los sistemas locales de monitoreo, 2010-2019. Concentraciones medias anuales. La ciudad de Hermosillo no cuenta con un sistema de monitoreo de calidad del aire.

La información sobre concentraciones de NO_2[17] y CO[18] indica que en ninguna de las tres ciudades con datos se rebasó la norma correspondiente durante el periodo estudiado, pero las $PM_{2.5}$ y PM_{10} no cumplieron con la NOM[19]. Ciudad Juárez y la ZMM sobrepasaron el estándar de PM_{10} en todos los años del periodo revisado, siendo particularmente alta la concentración de $PM_{2.5}$ en la ZMM.

Lo anterior es relevante porque el mayor problema de calidad del aire en estas ciudades reside en las partículas suspendidas, que se asocian directamente con el tránsito de vehículos, principalmente de carga y pasajeros, sobre pavimentos deteriorados o inexistentes.

Índice de calidad del aire y salud

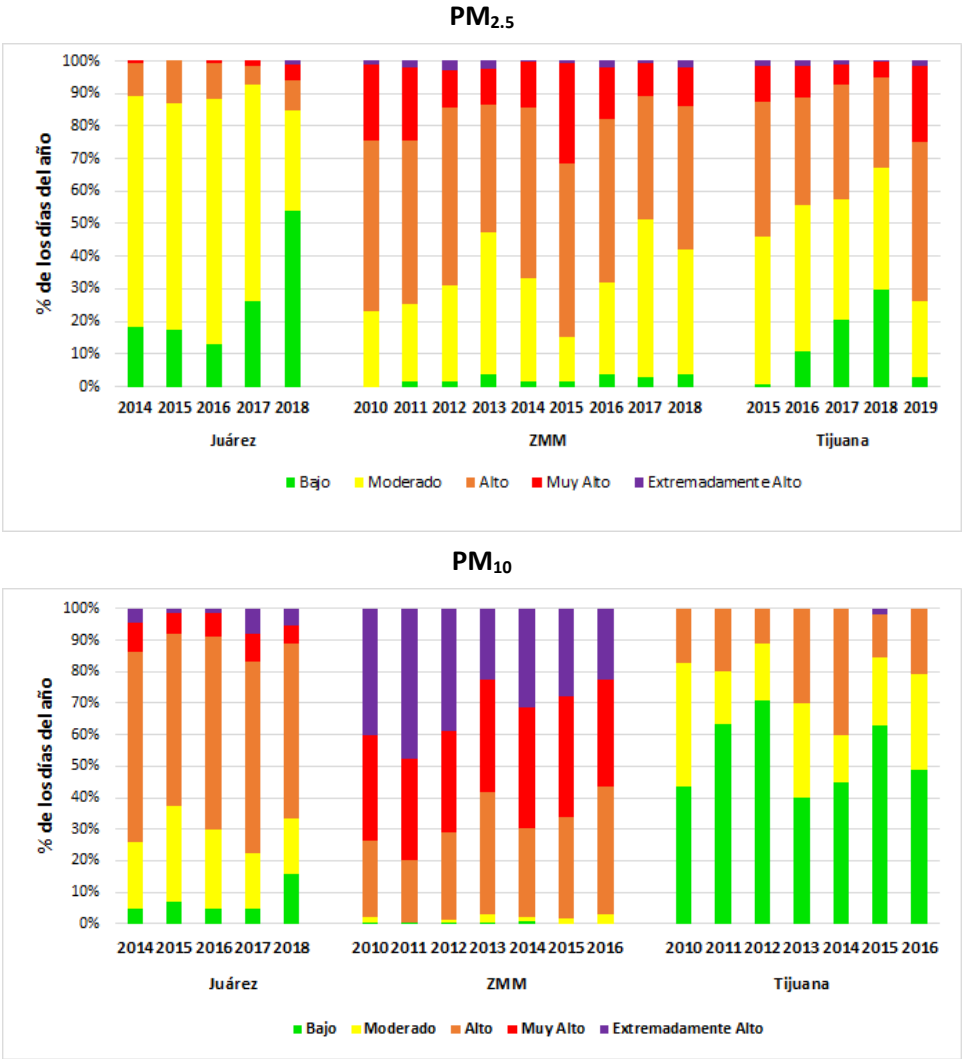
El Índice de Calidad del Aire y Salud (ICAS) se elabora con datos de los SMCA y su propósito es informar a la población sobre los niveles de riesgo a que se expone en tiempo real, de acuerdo con la norma NOM-172-SEMARNAT-2019; también, permite comparar la calidad del aire en diferentes ciudades a partir de valores horarios. Algunos comentarios relevantes son los siguientes:

- ZMM: el ICAS mejoró entre 2010 y 2013, luego empeoró significativamente entre 2014 y 2015, y volvió a mejorar en 2017.

[16] Fueling the Diesel vs. Natural Gas Debate. https://www.waste360.com/mag/waste_trucks_fueling_diesel
[17] NOM-023-SSA1-1993
[18] NOM-021-SSA1-1993
[19] NOM-025-SSA1-2014

- Tijuana: la contaminación por $PM_{2.5}$ mejoró entre 2015 y 2018, para luego empeorar significativamente en 2019.
- Ciudad Juárez: la calidad del aire se mantuvo prácticamente "estable" en el lapso estudiado.
- En cuanto al nivel de riesgo por $PM_{2.5}$, en Ciudad Juárez (2018) se observó que en el 50% de los días el nivel de riesgo fue "bajo"; lo mismo sucedió en Tijuana en el 30% de los días. Por lo contrario, en la ZMM el nivel de riesgo fue de "alto" a "extremadamente alto" en el 58% de los días del año.
- Para el riesgo a la salud por PM_{10}, Tijuana registró más del 40% de los días del año con nivel "bajo", mientras que la ZMM presentó niveles de riesgo de "muy alto" a "extremadamente alto" entre el 57% y el 80% de los días del año.

Figura 2 - Riesgo a la salud por material particulado (2010-2018)



Por ser el gas natural un combustible gaseoso, las emisiones de partículas filtrables son típicamente bajas y los vehículos propulsados con éste "contaminan menos el aire de las ciudades" que los que utilizan diésel o gasolina; así mismo, emiten una menor cantidad de CO_2 por unidad de energía consumida por el

vehículo, siendo una mejor opción que las unidades a diésel o gasolina para las áreas urbanas muy contaminadas, como las referidas en este estudio.

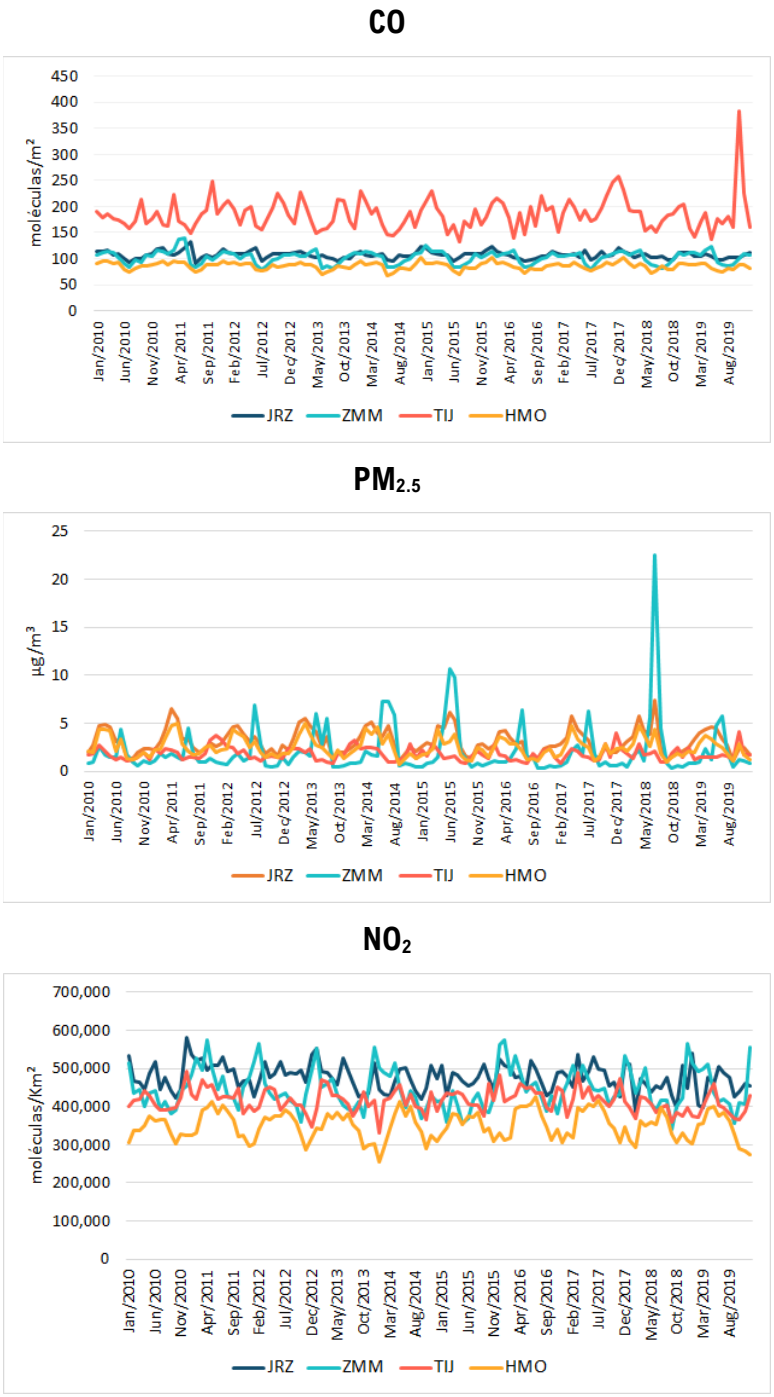
Tendencias de calidad del aire

Para complementar la información de los SMCA y obtener una aproximación de las tendencias de la calidad del aire, se revisaron los registros mensuales de CO, NO_2 y $PM_{2.5}$ del sistema NASA-Giovanni[20], de enero de 2010 a diciembre de 2019 para las cuatro ciudades del estudio.

- Los satélites miden la concentración de contaminantes en la columna vertical de la atmosfera, desde su órbita hasta la superficie de la Tierra. Las concentraciones de CO se reportan en moléculas/m^2, las de NO_2 en moléculas/Km^2 y las de $PM_{2.5}$ en µg/m^3 y no pueden ser comparadas con las mediciones en superficie, ni relacionarse directamente con los impactos del programa financiado por el BDAN, pero permiten conocer de manera general el comportamiento de la calidad del aire a través del tiempo, reconociendo que las variaciones estacionales son principalmente atribuibles a procesos y fenómenos naturales y que las condiciones ambientales y socioeconómicas de cada ciudad son diferentes. Un análisis completo de tendencias debe basarse en información validada de los SMCA.
- Los promedios mensuales de concentraciones de CO en Tijuana estuvieron por arriba del resto de las ciudades del estudio, siendo Hermosillo la que presenta las menores concentraciones; Ciudad Juárez y la ZMM se mantienen en niveles similares. En el análisis estadístico efectuado, se observaron tendencias a la baja del CO durante el periodo de estudio en Ciudad Juárez y Hermosillo, pero no pueden relacionarse con algún proyecto o acción en específico, ya que las mediciones de satélite son a nivel de toda la columna atmosférica y no de superficie.
- Los promedios mensuales de NO_2 de Ciudad Juárez y la ZMM se encuentran por arriba del resto de las ciudades, con Hermosillo presentando las menores concentraciones. En Ciudad Juárez y Tijuana se observa una tendencia a la baja de este contaminante.
- Los promedios mensuales de $PM_{2.5}$ muestran que Ciudad Juárez y la ZMM registran las mayores concentraciones; el análisis estadístico concluyó que Hermosillo es la única ciudad con tendencia a la baja, con una tasa de decaimiento mensual de 0.025 µg/m^3 de $PM_{2.5}$.

[20] Giovanni (Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure) es una aplicación web desarrollada por el Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center de la NASA que permite examinar los datos satelitales con resolución espacial reducida de todo el mundo.

Figura 3 - Series mensuales de datos satelitales de CO, NO_2 y $PM_{2.5}$ (2010-2019)



Emisiones de fuentes móviles y su relación con el transporte público

Contexto de las emisiones de vehículos de combustión interna

La principal emisión de los vehículos a diésel es material particulado sólido y semisólido, producto del quemado incompleto del combustible atomizado. El CO derivado de los hidrocarburos no quemados se

emite en cantidades menores en motores diésel que en los de gasolina y gas natural encendidos por chispa. La emisión de óxidos de nitrógeno es similar en ambos casos[21].

Por lo anterior, la decisión de introducir en un sistema de transporte público vehículos a diésel o a gas natural comprimido dependerá de las condiciones de calidad del aire de la localidad, considerando que:

- Si el problema de calidad del aire es por material particulado, la mejor opción serán los vehículos propulsados con gas natural.
- Pero si la problemática es por CO y ozono, los vehículos a diésel serán la mejor opción.

Existen tecnologías de control, como trampas de partículas y convertidores de reducción selectiva, que pueden disminuir de manera importante las emisiones de partículas y de óxidos de nitrógeno, con el inconveniente de elevar los costos de los vehículos.

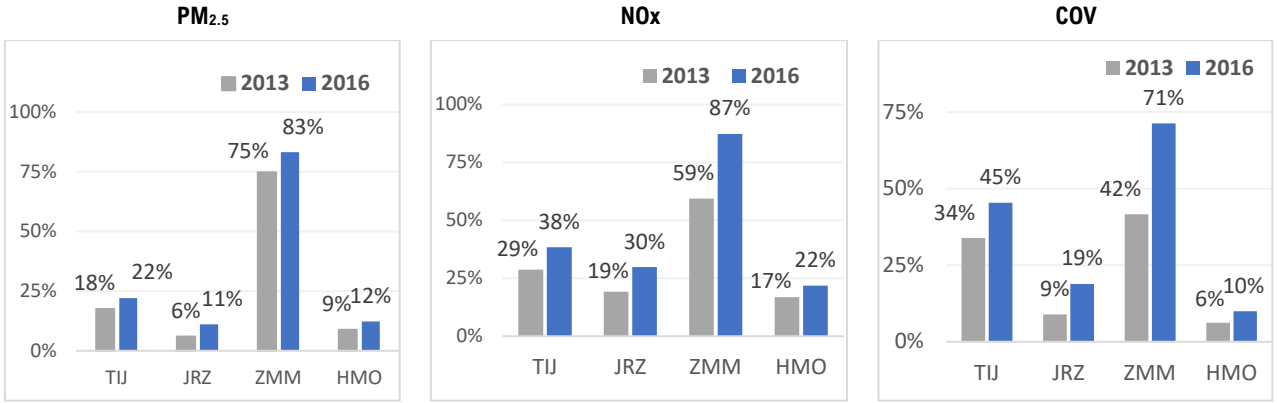
Inventarios de fuentes móviles

Los inventarios de emisiones más recientes de la SEMARNAT, disponibles en abril de 2021, fueron del año 2016. Dado que el programa de sustitución de autobuses financiado por el BDAN inició en 2015, la información de los inventarios solo sirve de línea base y no para estimar el posible impacto del programa. Adicionalmente, los inventarios de la SEMARNAT de emisiones de fuentes móviles agrupan la contribución de toda la flota vehicular de una localidad, sin desagregación por tipos o categorías de vehículos.

De los inventarios de emisiones disponibles se desprende que entre 2013 y 2016 se incrementó la contribución por fuentes móviles de $PM_{2.5}$, NOx y COV en las cuatro ciudades del estudio, pudiendo deberse en parte a que las unidades de transporte público urbano con edad superior a los 15 años operan sin control de emisiones y producen mayores emisiones por unidad.

- En 2016, el 87% de las emisiones NO_X y el 83% de las de $PM_{2.5}$ de la ZMM provenían de fuentes móviles, ya que abundaban las unidades de transporte público de estratos tecnológicos sin control, inclusive en los años en que ya existían los programas de BRT.
- Las contribuciones de NOx por fuentes móviles en Tijuana aumentaron del 29% al 38% del total entre 2013 y 2016, mientras que en Ciudad Juárez aumentaron del 19 al 30% del total en el mismo periodo.

Figura 4 - Contribución de emisiones de las fuentes móviles (2013-2016)



[21] Taylor, C.F., 1995. The internal combustion engine in theory and practice, Vol II, Combustion, Fuels, Materials, Design. MIT.

Modelación MOVES

Con el modelo MOVES 2014a-México se estimaron las emisiones de 297 autobuses nuevos de bajas emisiones a diésel introducidos en las cuatro ciudades del estudio, y con el modelo MOVES3-Estados Unidos las de 425 unidades propulsadas por gas natural introducidas únicamente en Ciudad Juárez y la Zona Metropolitana de Monterrey. El ejercicio se realizó para $PM_{2.5}$, PM_{10}, compuestos orgánicos volátiles (COV), CO y óxidos de nitrógeno (NO_X).

La modelación MOVES permitió comparar las emisiones de los vehículos nuevos con las de vehículos de tecnologías anteriores. Ambas versiones de MOVES se corrieron en el modo factor de emisión, calibrado con datos específicos de temperatura, humedad, tipo de combustible, kilómetros recorridos, tipo de vialidad de la ruta y patrones de conducción para cada ciudad estudiada. Los factores de emisión de NOx, CO, COV y $PM_{2.5}$ se obtuvieron para cada año modelo de vehículo simulado.

Cabe notar que los vehículos a gas natural abaten sus emisiones de NO_x y $PM_{2.5}$, principales causantes de enfermedades respiratorias, pero incrementan sus emisiones de CO en comparación a los vehículos a diésel[22]. Las altas concentraciones de CO pueden llegar a ser problemáticas en interiores, pero rara vez ocurren en el exterior. Las altas emisiones de CO en exteriores pueden afectar a ciertas personas con enfermedades del corazón, pero regularmente se dispersan y tienen un efecto mucho menos negativo que otros contaminantes. En algunos motores de combustión interna existe una relación inversa entre las emisiones de CO y de otros contaminantes como los NO_x, y normalmente es preferible que las emisiones de CO sean más altas como resultado de reducir las emisiones de NO_x.

En comparación con las emisiones que hubieran producido 722 autobuses antiguos en servicio, a diciembre de 2020 las unidades colocadas por el programa evitaron 1,964 toneladas de NOx, 164 de $PM_{2.5}$ y 90 de COV. A la vez, las unidades nuevas propulsadas con gas natural emitieron 1,280 toneladas netas más de CO que si hubieran sido antiguas.

- En la ZMM se colocaron 474 unidades con la mitad de ellas a gas natural, habiéndose evitado la emisión de 1,434 toneladas de NOx, 85 de $PM_{2.5}$ y 19 de COV, pero emitieron 1,270 toneladas netas más de CO.
- Ciudad Juárez fue el segundo mayor receptor de unidades de bajas emisiones, con 102, de las cuales 42 fueron a diésel (41%) y 60 a gas natural (59%). Las unidades a gas natural lograron evitar 524 toneladas de emisiones de NOx y las unidades a diésel 1 tonelada, pero emitieron 260 toneladas netas más de CO.
- A la fecha, las 722 unidades en servicio han evitado la emisión de 34,294 toneladas de gases de efecto invernadero, medidas como CO_2 equivalente.

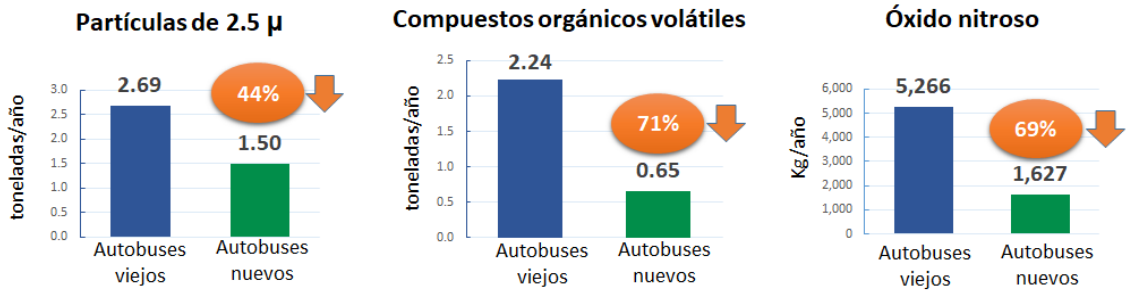
Cuadro 1 - Emisiones evitadas por las unidades nuevas del programa (toneladas a diciembre de 2020)

Ciudad	Combustible	NOx	CO	COV	$PM_{2.5}$
Tijuana	Diesel	2	99	14	13
Ciudad Juárez	Diesel	1	66	8	9
	Gas natural	524	-326	8	31
ZMM	Diesel	1	66	8	9
	Gas natural	1,434	-1,336	19	85
Hermosillo	Diesel	2	150	34	17
Emisiones netas		**1,964**	**-1,281**	**91**	**164**

[22] EMBARQ, 2012. Emisiones de escape de autobuses de transporte público, p 16, fig. 2a. https://wrirosscities.org/sites/default/files/Spanish-Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf

Adicionalmente a la modelación MOVES del parque de transporte público de las cuatro ciudades estudiadas, como ejercicio demostrativo del potencial de reducción de emisiones de los autobuses nuevos, se modeló por separado la Ruta 1 del BRT de Ciudad Juárez que opera con 42 autobuses, bajo los siguientes escenarios: 1) Autobuses antiguos, 19 años de antigüedad, y 2) Autobuses nuevos, 3 años de antigüedad.

Figura 6 - Reducción de emisiones en la Ruta 1 del BRT de Ciudad Juárez



Los resultados ilustrados en la figura 6 ponen de manifiesto la magnitud del impacto en la calidad del aire de las unidades nuevas de bajas emisiones, que liberan a la atmósfera cantidades significativamente menores de contaminantes.

Monitoreo de contaminantes en Ciudad Juárez

El objetivo fue determinar el grado de exposición a contaminantes de los usuarios del transporte público en Ciudad Juárez en diferentes tipos de autobuses, considerando rutas, horarios y condiciones meteorológicas.

Los parámetros monitoreados fueron formaldehido (HCHO), $PM_{2.5}$ y CO_2 y se seleccionaron por su relevancia sobre la salud pública y su relativa facilidad de obtención:

- El formaldehído es una sustancia incolora, inflamable y de olor fuerte que se usa en la fabricación de materiales y productos del hogar. Se encuentra en la madera prensada, contrachapada, terciada y triplay; pegamentos y adhesivos; telas de planchado permanente; productos de papel y materiales aislantes. Se usa como fungicida, germicida, desinfectante industrial y conservador en morgues y laboratorios médicos. Las principales fuentes de exposición al formaldehído son las emisiones del escape de los automotores y al interior de las viviendas el humo de cigarrillos, estufas de gas y de leña y calentadores de queroseno. En concentraciones por arriba de 0.1 ppm en el aire, produce efectos adversos como ojos llorosos, ardor en ojos, nariz y garganta; tos; respiración con silbidos; náuseas e irritación de la piel. La EPA los catalogó desde 1987 como carcinógeno en seres humanos en situaciones de exposición aguda o prolongada.
- El material particulado, especialmente $PM_{2.5}$, se puede acumular en el sistema respiratorio y está asociado, con una gran consistencia científica, a numerosos efectos negativos sobre la salud, incluyendo el aumento de enfermedades pulmonares y cardiacas, muertes prematuras e ingresos a servicios hospitalarios de emergencia.
- Si bien el CO_2 no es tóxico ni nocivo para la salud humana, tampoco es útil para la respiración; altas concentraciones de este gas en el aire producen una sensación poco confortable debido a que desplaza el oxígeno y hace que la respiración se vuelva fatigosa. No existen umbrales de concentración a partir de los cuales se pueda hablar de peligro para la salud.

Con la ayuda de las autoridades locales responsables del servicio de transporte público, se seleccionaron tres rutas urbanas, calificadas según el tipo predominante de autobuses que circulan en estas, como de "Unidades Nuevas", "Unidades Mixtas" y "Unidades Antiguas", y se tomaron muestras en recorrido (dentro de la unidad) y en el paradero de la ruta con mayor afluencia de pasajeros. Los días de muestreo se definieron con base en los reportes de calidad del aire de la ciudad y las condiciones meteorológicas, tomando en cuenta las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19.

Cuadro 2 – Rutas urbanas y paraderos de autobuses monitoreados en Ciudad Juárez

Ruta y Paradero	Descripción	Duración del recorrido (min)
Unidades Nuevas: BRT Troncal1 Paradero: Smart Aeropuerto Latitud 31.6576, Longitud -106.43051	Circulan autobuses nuevos, con tecnología de bajas emisiones.	27
Unidades Mixtas: Línea 5 A Pantoja Paradero: Gran Patio Zaragoza Latitud 31.65953, Longitud -106.44191	Circulan autobuses de tecnología nueva con cinco o más años de uso, mezclados con autobuses antiguos con tecnologías pasadas.	55
Unidades Antiguas: Línea 8A Futurama Paradero: Smart López Mateos Latitud 31.711151, Longitud -106.45260	Circulan únicamente autobuses de modelos antiguos.	33

La campaña de monitoreo se realizó en febrero de 2021[23] durante 5 días no consecutivos, en horarios matutino y vespertino, utilizando equipos de medición *in situ* portados por 6 técnicos que simularon ser usuarios del transporte público y transeúntes, cubriendo el recorrido de los autobuses y haciendo escala en los paraderos designados. En total se levantaron 60 conjuntos de resultados minuto a minuto durante los recorridos y paradas técnicas, mismos que fueron validados y procesados para su interpretación.

Discusión de resultados

Por su gran dispersión y variabilidad, los resultados del Cuadro 3 indican que no existe una diferencia significativa entre las concentraciones de material particulado y formaldehido dentro de los autobuses nuevos (rutas de Unidades Nuevas y Mixtas) y los antiguos (rutas de Unidades Mixtas y Antiguas). Es decir, a pesar de que existe una reducción sustancial en las emisiones de estos contaminantes debido a la introducción de unidades de transporte nuevas, estas no son suficientes para marcar una diferencia sobre el resto de las condiciones que afectan la calidad del aire en estos sitios y las concentraciones de estos parámetros aún están definidas más por las condiciones del tránsito, el estado de conservación de las vialidades y las actividades en el entorno de las rutas, que por la tecnología de los vehículos. En contraste, las concentraciones de CO_2 al interior de los autobuses que transitan por la ruta de Unidades Antiguas son 30% superiores a las encontradas en las rutas de Unidades Nuevas y Mixtas, pudiendo asociarse la diferencia con la combustión más ineficiente en los motores de las unidades antiguas.

La OMS recomienda una concentración máxima de HCHO de 0.1 mg/m^3 en el microambiente del interior del autobús durante un tiempo de exposición de 30 minutos. Los resultados fueron muy similares en las tres rutas y ligeramente por arriba del criterio de salud de la OMS: ruta de Unidades Nuevas 0.107 mg/m^3, Unidades Mixtas 0.098 mg/m^3 y Unidades Antiguas 0.101 mg/m^3.

En cuanto a los resultados de $PM_{2.5}$ solo es posible hacer una comparación puntual con el criterio de exposición personal en interiores de la OMS, que es de 25 µg/m^3 para una exposición de 24 horas, ya que el promedio de los recorridos realizados en las tres rutas es de solo 38 minutos. Las $PM_{2.5}$ dentro de los autobuses presentaron un valor promedio de 84.5 µg/m^3 durante el recorrido de la ruta de Unidades

[23] La época seca fría de noviembre a febrero presenta la mayor estabilidad meteorológica.

Nuevas del BRT [24], que es la de mayor actividad humana y económica de la ciudad, de 46 µg/m^3 en la ruta de Unidades Mixtas y de 40 µg/m^3 en la ruta de Unidades Antiguas. Estos valores corresponden a un criterio de "insalubre" en el primer caso y de "insalubre para grupos sensibles" en los otros dos, y merecen un estudio detallado por su posible impacto en la salud de los usuarios del servicio de transporte público.

En los tres paraderos de autobuses monitoreados, las concentraciones de $PM_{2.5}$ fueron menores a las obtenidas en los recorridos, con valores promedio de: Unidades Nuevas 14.5 µg/m^3, Unidades Mixtas 22.5 µg/m^3 y Unidades Antiguas 11.5 µg/m^3, resultando en condiciones "moderadas" en los dos primeros casos y "buenas" en el tercero.

Tanto en horario vespertino como matutino, las concentraciones promedio de CO_2 al interior del autobús durante su recorrido se califican como moderadas; el criterio de EPA indica que concentraciones de menos de 700 ppm son "buenas", entre 700 y 1,500 ppm corresponden a una exposición con riego "moderado" y por arriba de 1500 ppm son "insalubres". Los resultados fueron: Ruta de Unidades Nuevas 774 ppm, Unidades Mixtas 797 ppm y Unidades Antiguas 1,031 ppm.

Cuadro 3- Resultados del monitoreo de campo en Ciudad Juárez

Ruta	Lugar de muestreo	Turno	$PM_{2.5}$ (µg/m^3)					PM_{10} (µg/m^3)				
			Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar	Número de registros	Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar	Número de registros
Unidades Nuevas	Parada	Matutino	5	21	49	11	291	6	30	70	15	291
		Vespertino	5	24	62	13	206	8	35	92	20	206
	Recorrido	Matutino	10	58	401	50	294	15	92	730	82	294
		Vespertino	7	34	80	14	202	11	54	127	22	202
Unidades Mixtas	Parada	Matutino	5	16	82	8	155	5	22	121	13	155
		Vespertino	3	7	40	5	123	4	9	45	6	123
	Recorrido	Matutino	4	65	201	47	163	7	100	323	73	163
		Vespertino	1	15	163	18	141	1	23	244	28	141
Unidades Antiguas	Parada	Matutino	7	18	38	7	140	9	26	59	11	140
		Vespertino	4	11	25	4	157	6	16	36	6	157
	Recorrido	Matutino	4	123	999	178	144	7	181	999	225	144
		Vespertino	5	46	140	26	137	7	76	246	44	137

Ruta	Lugar de muestreo	Turno	CO_2 (ppm)					HCHO (mg/m^3)				
			Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar	Número de registros	Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar	Número de registros
Unidades Nuevas	Parada	Matutino	344	425	760	37	291	0.001	0.083	3.471	0.447	291
		Vespertino	401	471	1376	69	206	0.001	0.019	0.358	0.033	206
	Recorrido	Matutino	376	834	1680	269	294	0.001	0.100	0.616	0.132	284
		Vespertino	451	760	1509	213	202	0.001	0.095	0.573	0.103	194
Unidades Mixtas	Parada	Matutino	375	693	4573	833	155	0.001	0.020	0.178	0.038	155
		Vespertino	406	490	1579	245	123	0.001	0.025	0.354	0.070	123
	Recorrido	Matutino	400	1307	3375	596	163	0.001	0.090	0.538	0.092	163
		Vespertino	406	755	1713	275	141	0.001	0.112	0.778	0.125	141
Unidades Antiguas	Parada	Matutino	384	438	493	30	140	0.001	0.014	0.296	0.033	140
		Vespertino	380	435	653	40	157	0.001	0.009	0.081	0.012	157
	Recorrido	Matutino	362	765	1446	206	144	0.001	0.129	0.815	0.155	144
		Vespertino	528	783	1521	234	137	0.001	0.085	0.259	0.051	128

[24] Estos valores son del mismo orden de magnitud que las reportadas por estudios recientes del INECC en los corredores BRT del Metrobús de la Ciudad de México, con 112 µg/m^3 en la línea 1 y 92 µg/m^3 en la línea 5, y en el Tuzobús de Pachuca, Hidalgo, con 82.4 µg/m^3.

Ruta	Sitio	$PM_{2.5}$ (µg/m^3)		CO_2 (ppm)		HCHO (mg/m^3)	
		Promedio	Norma	Promedio	Norma	Promedio	Norma
Unidades Nuevas	Parada	14.5	EPA, 12.1 -35.4 [Moderado]	437	EPA, ≤ 700 [Buena]	0.012	
	Recorrido	84.5	EPA, 55.5-150.4 [Insalubre]	774	EPA, 701 -1000 [Moderado]	0.107	OMS, >0.1 [Insalubre]
Unidades Mixtas	Parada	22.5	EPA, 12.1 -35.4 [Moderado]	448	EPA, ≤ 700 [Buena]	0.051	
	Recorrido	46	EPA, 35.5 -55.4 [Insalubre para grupos sensibles]	797	EPA, 701 -1000 [Moderado]	0.098	OMS, ≤ 0.1 [Sano]
Unidades Antiguas	Parada	11.5	EPA, ≤ 12 [Buena]	592	EPA, ≤ 700 [Buena]	0.023	
	Recorrido	40	EPA, 35.5 -55.4 [Insalubre para grupos sensibles]	1,031	EPA, 1001 -1500 [Insalubre para grupos sensibles]	0.101	OMS, >0.1 [Insalubre]

Del monitoreo de campo efectuado se puede concluir que los usuarios del transporte público de Ciudad Juárez, independientemente del estado de conservación de las unidades en que viajen, están expuestos durante el trayecto a altas concentraciones de material particulado y otros contaminantes de importancia para la salud pública, como el formaldehido, cuyas fuentes pueden encontrase en las diversas actividades cotidianas de la sociedad en el entorno de las rutas urbanas. Modernizar la totalidad de las unidades de transporte ciertamente tendría un efecto positivo en la calidad del aire debido a la disminución de emisiones, pero muy probablemente también se requeriría identificar y resolver otras fuentes de contaminantes para lograr mejoras sustanciales en la calidad el aire ambiente.

III - Sistemas de Transporte Público

Objetivo

Analizar la condición general en que se encuentran los sistemas de transporte público (STP) de las ciudades objeto del estudio de impacto: Tijuana, Hermosillo, Ciudad Juárez y la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), desde una perspectiva integral que identifique coincidencias y diferencias, maduración institucional y marcos normativos para operar el transporte público.

Metodología

Un sistema de transporte público se concibe como como el arreglo institucional, formal o informal, que provee la infraestructura vial, el equipamiento de transporte y los marcos normativo y de operación, para que los habitantes de una ciudad se trasladen a sus actividades cotidianas de carácter productivo, educativo y de convivencia social.

Se analizaron las seis vertientes más relevantes para caracterizar los sistemas de transporte público:

- Acceso a fuentes de datos e información
- Modelos de concesiones
- Mecanismos de cobro electrónico
- Obsolescencia de unidades
- Marcos legal y regulatorio para favorecer la renovación de unidades de transporte público
- Infraestructura vial

Contexto general urbano

Por su importancia económica, concentración poblacional y perfil de competitividad, las ciudades de la frontera norte de México analizadas en este estudio de impacto son referentes urbanos obligados de la región. Su relevancia en perspectiva se establece mediante dos indicadores:

Dimensión demográfica

Las cuatro ciudades fronterizas, que incluyen 18 municipios de la Zona Metropolitana de Monterrey, contienen el 56% de la población de sus respectivos estados y el 40% de la población de los seis estados fronterizos de México.

Cuadro 4 - Concentración de población

Area urbana	Pob ciudad (hab)	Pob estado (hab)	Concentración Ciudad/Estado
Hermosillo	1,512,450	3,741,869	40%
Ciudad Juárez	936,263	2,944,840	32%
Tijuana	4,689,601	5,784,442	81%
Zona metropolitana de Monterrey	1,922,523	3,769,020	51%
Total	**9,060,837**	**16,240,171**	**56%**

Índice de competitividad urbana

Las cuatro ciudades del estudio de impacto destacan favorablemente por su competitividad urbana en el concierto de las ciudades del país[25]. Como destino de inversión de capital, en 2020 las ciudades fronterizas mexicanas recibieron 35% más inversión extranjera directa que el resto de las ciudades del país[26].

Cd. Juárez, Chih. - Es una ciudad estratégica para la entrada a los Estados Unidos y hacia el centro de México. Ha experimentado un crecimiento industrial sobresaliente, ya que a su fundo legal se han asentado numerosas industrias ensambladoras ("maquiladoras"). Durante la década del 2000, la ciudad fue considerada como uno de los principales focos inmobiliarios para la industria en Norteamérica[27].

Hermosillo, Son. - Es una ciudad que ha experimentado un rápido crecimiento poblacional debido a la expansión industrial del sector automotriz.

Zona Metropolitana de Monterrey, NL - La relevancia de la ZMM radica en ser el núcleo socioeconómico del noroeste de México. En 2019, Monterrey fue considerada como la ciudad con mejor calidad de vida de México[28]. Es sede de numerosos conglomerados empresariales entre los que destacan Cemex, Oxxo, Femsa, Vitro y Alfa. El Municipio de San Pedro Garza García es considerado como la demarcación más rica de México y de América Latina.

Tijuana, BC - La ciudad conforma una zona metropolitana con Rosarito, Tecate y San Diego, California. Su ubicación es estratégica y se considera una de las ciudades fronterizas con mayor afluencia del mundo[29]. Se estima que anualmente cruzan su frontera alrededor de 50 millones personas. Alberga numerosas empresas e industrias trasnacionales, siendo además una ciudad de tránsito para miles de vacacionistas norteamericanos que visitan México.

Cuadro 5 - Índice de Competitividad IMCO 2020

Area urbana	Posición en el índice de competitividad urbana del país	Estatus de competitividad
Hermosillo	4o. Lugar de ciudades entre 500 mil y 1 millón de habitantes	Media
Ciudad Juárez	10o. lugar entre las ciudades de más de 1 millón de habitantes	Media-alta
Tijuana	11o. lugar entre las ciudades de más de 1 millón de habitantes	Media-alta
Zona metropolitana de Monterrey	2o. lugar entre las ciudades de más de 1 millón de habitantes	Alta

Análisis de los sistemas de transporte público

Fuentes de información

Con excepción de la ZMM, el resto de las ciudades del estudio presentan insuficiencias en sus sistemas de información, en una mayor o menor medida, que limitan el acceso a información determinante para la toma de decisiones y la planeación de mediano y corto plazos.

[25]https://imco.org.mx/
[26]https://imco.org.mx/indice-de-competitividad-urbana-2020/
[27]https://www.nytimes.com/2007/03/28/realestate/commercial/28juarez.html?_r=1&scp=1&sq=Where+commerce+flows&st=nyt
[28]https://www.latam.mercer.com/newsroom/estudio-calidad-de-vida.html
[29]https://web.archive.org/web/20150616212720/http://turistaenlafrontera.com/?p=8876

Resulta muy complicado consultar bases de datos confiables, actualizadas y de acceso libre a nivel local, no obstante que las autoridades estatales y municipales son responsables de sistematizar la información y asegurar la prevalencia del sector público como rector de la vida y convivencia urbana, respetando la privacidad de las empresas y organizaciones sociales.

Usualmente no se cuenta con información actualizada sobre el parque vehicular de transporte público y privado, características técnicas de los automotores, capacidades de transporte, número de concesiones operando con permiso oficial y unidades informales, áreas urbanas con tendencias de incremento o decremento de demanda de servicio de transporte público, tipo y número de rutas, etc.; por otro lado, los actores del sector difícilmente proporcionan su información.

En el caso específico de las ciudades analizadas, los gobiernos estatales y municipales están en el camino de organizar y transparentar dicha información, pero aún les queda mucho camino por recorrer.

- El gobierno de Nuevo León tiene el mayor avance en el acceso a la información, ya que la página del Consejo Estatal de Transporte y Vialidad del Estado de Nuevo León contiene información relevante sobre las rutas y ramales, además del inventario de unidades que se encuentran en servicio en la ZMM.
- El Fondo Estatal para la Modernización del Transporte del Gobierno de Sonora, a través de su iniciativa UNE, gestiona y administra el Sistema de Transporte en el Estado y en su portal web "UNE Transporte Urbano[30]", presenta la información básica pertinente.
- El gobierno de Chihuahua está desarrollando una página web para presentar la información actualizada del sistema y las rutas disponibles en Ciudad Juárez, pero aún falta integrar la información de las unidades que circulan en cada ruta.
- El gobierno de Baja California se encuentra en el camino de desarrollar una página web con información de rutas y unidades, que incluye algunos mapas de las rutas del sistema de transporte de Tijuana, pero por lo desagregado del modelo concesional, aún falta homologar e integrar la información en un solo sitio.

Es necesario apoyar a los estados y municipios para que desarrollen un sistema unificado de información estadística sobre flotas vehiculares, de fácil acceso a los tomadores de decisiones y la identificación de oportunidades y proyectos potenciales. Los sistemas deben incluir, entre otras cosas:

- Información estadística básica y detallada sobre las flotillas y el parque vehicular de cada ciudad.
- Información estadística de las rutas y ramales que brindan servicio.
- Datos desagregados sobre el número de usuarios y viajes realizado por ruta y por vehículo en una base de tiempo.
- Datos georreferenciados sobre rutas y pasajeros atendidos en cada ciudad.

Modelos de concesiones

El transporte público en México se encuentra casi en su totalidad bajo el modelo de concesiones, con algunas variantes de características y beneficios. En las ciudades estudiadas predominan tres modelos de concesiones: "hombre-camión", concesión a empresas o agrupaciones y asociación público-privada.

- En Nuevo León, por la creciente demanda de transporte y características de la ZMM, se ha implementado proyectos que requieren de participación privada, como es el caso de los BRT que

[30] http://www.une.sonora.gob.mx

actualmente funcionan en la ZMM y que tienen su base en el modelo de APP. Sin embargo, aún existen numerosas rutas concesionadas a empresas operadoras, las cuales deben cumplir con requisitos para brindar el servicio.

- Chihuahua se encuentra en el camino de modernizar el sistema de transporte en Ciudad Juárez. Una parte de las rutas actuales se encuentra concesionada a empresas operadoras, pero otra parte ha ido migrando a un modelo BRT con participación público-privada.
- En 2018, el Gobierno de Sonora tomó acciones para reorganizar las concesiones en Hermosillo bajo el modelo predominante de empresas operadoras. El gobierno estatal tiene la intención de implementar los proyectos necesarios para modernizar el sistema e incrementar la cobertura y calidad del servicio.
- Baja California se está en vías de reorganizar la manera en que opera el sistema de transporte en Tijuana. Sigue predominando el modelo de concesión hombre-camión, aunque existen empresas operadoras que agrupan cierto volumen de concesiones; los proyectos BRT y de transporte masivo gestionados ante el FONADIN[31], indican que se ha optado por el modelo de APP como una alternativa de financiamiento.

Mecanismos de cobro electrónico

Como en otras partes del mundo, en México se han venido implementando mecanismos de cobro electrónico que transparentan el ingreso por el servicio brindado. Dichos mecanismos presentan numerosas ventajas, como generar información estadística del flujo de caja que fortalece las posibilidades financieras de ampliaciones y nuevos proyectos, además de disuadir los asaltos y robos a las unidades en servicio.

- Nuevo León se encuentra en el proceso de cambiar el sistema de cobro para que sea electrónico y funcione a lo largo de todo el estado. Actualmente se cuenta con un mecanismo por tarjeta que funciona en el Metro y BRT de la ZMM. La intención es que el sistema acepte tarjetas prepagadas, tarjetas bancarias y otros dispositivos electrónicos (Smartphones y Smartwatches).
- En Chihuahua, como parte de la modernización del sistema de Ciudad Juárez, se ha incorporado el uso de tarjetas de prepago en las rutas troncales del BRT.
- En Sonora se ha implementado el modelo de tarjeta prepagada en Hermosillo, Ciudad Obregón y Navojoa, con la intención de expandirlo a todo el Estado para hacer más eficiente el cobro y facilitar el acceso subsidios y tarifas preferenciales.
- En Tijuana aún se recaudan las tarifas en efectivo, pero ya se ha iniciado la implementación de tarjetas de prepago en Mexicali y la intención es permear el modelo a todo el estado de Baja California.

La recaudación electrónica de las tarifas de transporte público tiene numerosas ventajas, entre otras:

- Generación de estadísticas a partir de los datos georreferenciados de cobro
- Aplicación de tarifas preferenciales o subsidiadas a usuarios con discapacidades, adultos mayores, pueblos originarios, estudiantes, etc.
- Centralización, fiscalización y transparencia en cuando al recaudo tarifario

[31] El Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) es el vehículo de coordinación del Gobierno de México para el desarrollo de infraestructura de comunicaciones, transporte, agua, medio ambiente y turismo.

Unidades obsoletas

En México es muy complicado modernizar las flotillas de transporte público, siendo una de las principales causas la ausencia de estímulos fiscales que incentiven el cambio de unidades, pues no basta la promoción de las ventajas ambientales y de reducción de consumo de combustibles en las unidades nuevas.

Los obstáculos para la sustitución de unidades son de índole económica y política.

- En Nuevo León se ha mantenido un paso constante en la renovación de la flotilla que presta servicio en la ZMM. Actualmente no se permiten unidades de más de 14 años (aunque la ley indica de 6 a 10 años dependiendo del estado físico de las unidades) y se ha iniciado la transición a combustibles más limpios. En este sentido, es importante continuar apoyando los esfuerzos del gobierno local para no perder la inercia y plantear metas más ambiciosas en cuanto a reducción de emisiones.
- Como parte de la modernización del sistema de Ciudad Juárez, el gobierno de Chihuahua ha incorporado nuevas unidades al sistema para sustituir las más obsoletas. No obstante, el 87% de las unidades en servicio son de modelo anterior al año 2004 y están fuera del cumplimiento de las normas ambientales.
- Sonora ha impulsado la renovación de las unidades de transporte público en Hermosillo, pero el 37% de la flota es modelo 2010 o anterior y no cumple con las normas ambientales.
- El gobierno de Baja California ha iniciado las acciones para renovar las unidades de transporte público en Tijuana, pero aún persisten en circulación unidades que sobrepasan los 20 años de antigüedad.

Es importante brindar apoyos técnicos, económicos y financieros a los gobiernos estatales y municipales para impulsar las acciones que permitan renovar las flotillas de transporte público, vinculados a programas de retiro y "chatarrización" de las unidades obsoletas. Entre las ventajas de modernizar las flotillas vehiculares destacan:

- Impulso a las cadenas productivas e industriales del sector automotriz, aun reconociendo que no todas las unidades nuevas comercializadas en México son fabricadas o armadas en el país.
- Incremento en la calidad y prestaciones de los vehículos que brindan el servicio.
- Cumplimiento en normatividades de eficiencia, ambientales y de seguridad de los vehículos.
- Mejora del paisaje urbano.

Marcos regulatorios de la renovación de unidades de transporte público

De la revisión de las leyes y reglamentos que atienden el tema de renovación de los vehículos de transporte público en los estados fronterizos, se destacan los siguientes puntos:

- Todos los estados de la región tienen regulaciones que establecen 10 años como límite de antigüedad para los autobuses en circulación; no obstante, la edad promedio de las unidades en servicio en las ciudades del estudio es de más de 15 años.
- En los seis estados fronterizos es factible desarrollar programas de sustitución vehicular, ya que sus marcos legales definen los umbrales de antigüedad o cuentan con bases para programas de sustitución.
- En Baja California, Chihuahua y Sonora, las leyes no son específicas en cuanto a los umbrales. La responsabilidad se delega a los municipios para que en función de sus necesidades ajusten los tiempos en sus reglamentos de tránsito (en Tijuana se establecen 7 años como umbral)

- En Tamaulipas se permite extender el umbral si el costo beneficio lo amerita, en función de un estudio de los beneficios sociales de la extensión.
- En Baja California, Chihuahua, Nuevo León y Sonora se tienen contemplados apoyos para acceder a los instrumentos de sustitución de vehículos (cuando existan).

Cuadro 6 - Leyes y reglamentos de transporte público

Estado	Ordenamiento	Umbral de antigüedad (años)	Prórroga	Programa por Ley	Centros de chatarrización
Baja California	Ley de Movilidad Sustentable y Transporte del Estado de Baja California	*	ND	Si	2
Chihuahua	Ley de Transporte del Estado de Chihuahua	*	ND	Si	2
Coahuila	Ley de Transporte y Movilidad Sustentable para Coahuila	10	ND	No	2
Nuevo León	Ley de Movilidad Sostenible y Accesibilidad para Nuevo León	6 a10	ND	Si	4
Sonora	Ley de tarifas del Servicio Público de Transporte de Pasaje Urbano para Sonora	*	ND	Si	--
Tamaulipas	Ley de Transporte Tamaulipas	10**	2	No	--

* Se delega a los reglamentos municipales de tránsito, ** Más de 10 años en zonas con menos de 100,000 habitantes
ND – No definido

El marco legal permite programas de reemplazo impulsados por los gobiernos, pero estos no son financiados de manera continua. Los principales obstáculos para el reemplazo de autobuses antiguos son:

- Los modelos existentes de concesiones suelen conducir a la fragmentación y baja capacidad económica de los proveedores.
- Las tarifas afectan la asequibilidad de los autobuses nuevos.
- Falta de aplicación de los límites de antigüedad y de las condiciones operativas de las unidades.
- Falta de fondos para cubrir el valor de rescate como parte de los programas de chatarrización.

Infraestructura vial

La infraestructura vial es la presencia de todo lo relacionado con las vías construidas específicamente para el traslado de las unidades automotores privadas, comerciales y públicas, que permiten la conectividad en una ciudad, la vida urbana productiva, la cultura y la convivencia social; de ahí la importancia de las vialidades y de cómo esta infraestructura caracteriza a las ciudades.

La población de México en 2020 fue de 126’014,024 habitantes[32], de los cuales el 79% residían en áreas urbanas, en contraste con el 43% de 1950 y el 71% de 1990. Las cuatro ciudades de este estudio concentran el 40% del total de la población de los seis estados fronterizos con los Estados Unidos y el 56% de la población de sus estados respectivos.

Existe una relación entre la optimización de los sistemas de transporte público, la creación y mantenimiento de infraestructura vial y la integración de nuevas unidades en las rutas. Si las autoridades construyen y mantienen en buen estado la infraestructura vial dedicada al transporte público, es más probable que los concesionarios se comprometan a integrar unidades nuevas en el sistema, que

[32] INEGI: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/

atenderán al mayor número posible de usuarios, lo que a su vez incrementará la relación costo-beneficio de las rutas.

Esto sucede en México, principalmente en los proyectos BRT apoyados por el FONADIN[33], en los que un estado o ciudad financian parte de la infraestructura vial requerida, y las empresas que participan en el proyecto, a modo de concesión, incorporan unidades nuevas de última generación en el sistema.

BRT

Una de las expresiones de la modernización del transporte público en las ciudades, sobre todo en América Latina, son los sistemas de transporte público masivo con autobuses tipo BRT (llamados así por sus siglas en inglés *Bus Rapid Transit*)[34].

El BRT es una infraestructura que prioriza el transporte público sobre otros vehículos, conlleva carriles confinados, posibilita el pago electrónico antes de tomar el autobús y permite un rápido acceso al mismo. Más de 45 ciudades de América Latina han realizado inversiones en sistemas BRT que movilizan el 63.6 % de los pasajeros de sistemas BRT a nivel mundial[35].

Actualmente, se están desarrollando proyectos de BRT en Tijuana, Ciudad Juárez y Monterrey, con apoyo del FONADIN.

- La inversión en infraestructura vial por los gobiernos locales, vinculando a la Federación y a operadores y concesionarios en proyectos de transporte púbico, es una alternativa que propicia la creación y el mantenimiento de sistemas de transporte púbico eficientes.
- Es muy conveniente implementar proyectos que optimicen las rutas en modalidades vinculantes, por ejemplo, esquemas de participación público-privada bajo el auspicio del FONADIN.
- La inversión en mantener y actualizar las vialidades reduce el desgate de las unidades de transporte público; los baches y la baja calidad de los pavimentos desestimulan la inversión en nuevas unidades y evitan alcanzar la masa crítica de usuarios que hace viables financieramente nuevas rutas. Invertir en vialidades es parte de un círculo virtuoso que atrae nuevas unidades de transporte y mejora el transporte público de pasajeros.

Conclusiones

Los programas de sustitución de autobuses deben combinarse con las políticas públicas locales de impulso al sector, como en el caso de Hermosillo, que redujo la antigüedad de su flota de transporte público de 19 a 6 años entre 2013 y 2019. Los 70 autobuses nuevos financiados a través del programa financiado por el BDAN, se consideran como un factor clave de este logro.

- En Hermosillo, en solo seis años se redujo la edad promedio de la flota de autobuses de transporte público de 19 años en 2013 a 7 años en 2019, mediante programas y políticas públicas que permitieron evolucionar a sistemas de transporte público masivo y semi masivo.
- En 2019, Ciudad Juárez tuvo la flota de transporte público más antigua de las cuatro ciudades del estudio, con 19 años en promedio, siguiéndole Tijuana con una antigüedad promedio de 17 años.

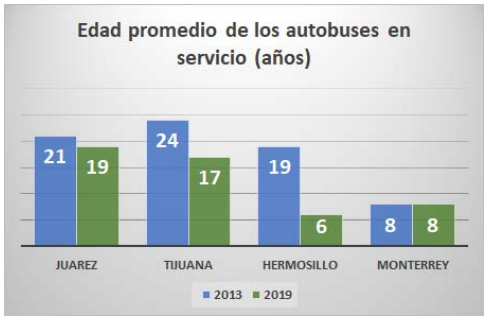
[33] FONADIN: Es el Fondo Nacional de Infraestructura, instrumento de coordinación del de México para desarrollar infraestructura en los sectores de comunicaciones, transporte, agua, medio ambiente y turismo.

[34] BRT por sus siglas en inglés en la revista Transportes y Turismo: https://www.tyt.com.mx/nota/sistemas-brt-en-mexico-rumbo-a-la-movilidad-del-futuro

[35] Rodríguez A. Daniel y Vergel Tovar Erick, 2012 - Sistemas de transporte público masivo tipo BRT y desarrollo urbano en América Latina, en la revista del Lincoln Institute of Land Policy – Land Lines, enero 2013.

- Con la incorporación de las unidades del programa de sustitución del BDAN entre 2015 y 2019, se puede inferir cierta mejoría en cuanto a la antigüedad vehicular promedio.

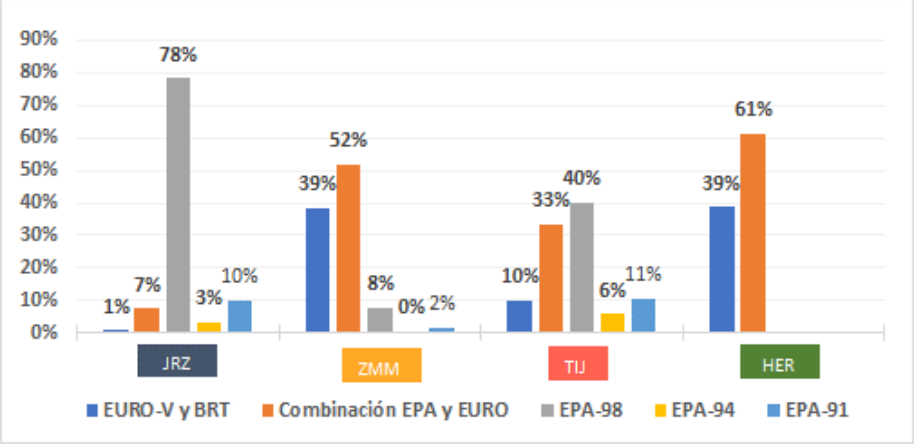
Figura 7 - Antigüedad de las unidades de transporte público



El estrato tecnológico de los autobuses está vinculado con la cantidad de sus emisiones contaminantes.

- En 2019, Ciudad Juárez tuvo la flota de transporte público más antigua de la región fronteriza con un promedio de 19 años, correspondiendo el 86% de las unidades a la regulación EPA-98.
- Tijuana tuvo la mayor cantidad de unidades sin ninguna regulación, con el 11% de la flota.
- Actualmente, el 39% de las flotillas de transporte público en la ZMM y Hermosillo corresponden a regulaciones EURO-V.

Figura 8 - Estratos tecnológicos de los autobuses de transporte público, 2019



Cuadro 7 - Estratos tecnológicos por año modelo de autobuses en México

Año modelo	Tecnología	Características
2015 y posteriores	EURO-V y BRT	Incorporación de tecnologías de control de emisiones dependiendo del estándar de cumplimiento de origen (Estados Unidos o Europa)
2005 a 2014	Combinación EPA y EURO	Adopción de estándares de Estados Unidos y de Europa
1998-2004	EPA-98	Inyección electrónica de combustible
1994-2004	EPA-94	Inyección mecánica
1991- 1993	EPA-91	Regulación de vehículos pesados a diésel homologada a los estándares de emisión de Estados Unidos
1990 y anteriores		Sin regulación

IV - Ciclo de Vida de los Vehículos de Transporte Público

Objetivo

Investigar y analizar la ruta del "ciclo de vida" de un autobús de pasajeros que se integra al sistema de transporte público de una de las cuatro ciudades involucradas en el estudio de impacto: Tijuana, Hermosillo, Ciudad Juárez y la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM). Adicionalmente, identificar las condiciones y circunstancias generales que caracterizan a los sistemas de transporte público (STP) de las ciudades fronterizas del norte de México.

Metodología

La noción del ciclo de vida de las unidades de transporte público se vincula con el concepto de chatarrización, que es el proceso mediante el cual los vehículos de cierta antigüedad son destruidos o desmantelados, para ser sustituidos por unidades nuevas, con ventajas tecnológicas y mejor relación costo-beneficio. Esta noción tiene relevancia en la esfera del transporte público de las comunidades urbanas y por la aparición de un mercado secundario de comercialización de partes usadas, así como el reuso y reciclaje de los productos y materiales generados.

Inicialmente se planeó una exploración profunda, con visitas y entrevistas de campo en las ciudades señaladas, pero las restricciones de tránsito y disponibilidad de contactos derivadas de la pandemia de COVID-19, obligaron a una investigación mayormente documental y solo en el caso de Ciudad Juárez se realizó una intervención presencial.

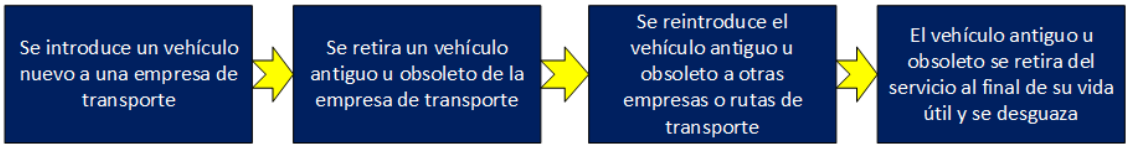
Sustitución y chatarrización

Para un mejor entendimiento del proceso de sustitución y chatarrización de unidades obsoletas, es conveniente señalar que existen dos variantes de chatarrización, que conducen a diferentes conclusiones:

Chatarrización tradicional

En este proceso las unidades de transporte público de cierta antigüedad son desmanteladas para el reuso o reciclaje de partes, fuera del andamiaje institucional y sin reglas ni normatividad alguna. Este comercio se realiza directamente entre los dueños de unidades (usualmente hombre-camión), o a través de establecimientos que compran y revenden las partes, comúnmente denominados *yonkes*. Este esquema difícilmente impulsa la sustitución por unidades nuevas y propicia un mercado secundario natural de refacciones que alargan la vida productiva de las unidades antiguas en servicio, que siguen siendo utilizadas hasta que ya no son económicamente atractivas para sus dueños.

Figura 9 - Ciclo de vida de una unidad de transporte público



Chatarrización institucional

Este proceso se realiza en menor medida, y se da cuando un vehículo es eliminado en una sola acción y pasa directamente a su desmantelamiento para fundición y no se revende ni se destina a otros usos. En este esquema, el seguimiento y supervisión de las instituciones locales son de la mayor importancia, porque a través de programas institucionales formales propician una serie de estímulos que inducen y motivan al dueño a reemplazar su unidad vieja por una nueva, o más nueva que la que tiene.

Saturación

Cada sistema de transporte público urbano del país se encuentra en un momento distinto de mercado, pudiendo clasificarse en las siguientes categorías:

- Equilibrio Concesiones y vehículos cubren la demanda de pasaje eficientemente
- Deficitario Concesiones y vehículos son insuficientes para la demanda de pasaje
- Superavitario Concesiones y vehículos sobrepasan la demanda de pasaje

Es difícil definir la cantidad de autobuses de transporte público en servicio en las ciudades del estudio, existiendo grandes diferencias entre los datos proporcionados por diferentes fuentes de una misma ciudad. El cuadro siguiente contiene los datos considerados como los más cercanos a la realidad:

Cuadro 8 – Parque vehicular e inversión requerida para la sustitución de unidades obsoletas

Ciudad	Tamaño de la flota	Unidades por ser sustituidas por antigüedad	% de la flota	Inversión requerida ($USD millones)**
Hermosillo, Son.[1]	379	143	38%	20.29
Cd. Juárez, Chih.[2]	5,829	5,071	87%	719.47
Tijuana, B.C.[3]	4,489	2,223	50%	315.4
Zona metropolitana de Monterrey, N.L.[4]	4,504	493	11%	69.95
Total	**15,201**	**7,930**	**52%**	**$ 1,125.10**

[1] PIMUS 2018 y UNE de Sonora (2017 y 2021) http://www.une.sonora.gob.mx. Solo consideran autobuses de transporte público urbano.
[2] Diseño operacional de las rutas troncales 1 y 2: Sistema Integrado de Transporte de Ciudad Juárez (2019).
[3] FONADIN, "ACB Proyecto Transporte Masivo Corredor 1" (2012). 2020-2021 incluye microbuses y *calafias*
[4] Agencia Estatal del Transporte de Nuevo León, 2020
** Se consideró la compra de unidades a gas natural con precio unitario de $2.9 millones de pesos.
** $20.44 pesos por dólar (DOF, 5 abril 2021)

Con los datos de tamaño de la flota de transporte público (incluyendo el servicio a maquiladoras en Ciudad Juárez y Tijuana) y del número de habitantes, se calcularon los indicadores[36] que definen el nivel de saturación para cada ciudad: habitantes por unidad registrada, habitantes por unidad operando y habitantes por asiento disponible en la flota. Los resultados se presentan en el cuadro 8 siguiente:

Cuadro 9 - Saturación de los sistemas de transporte público

Ciudad	Estatus
Tijuana, BC	Superavitario
Cd. Juárez, Chih.	En equilibrio
Zona Metropolitana de Monterrey, NL	En equilibrio
Hermosillo, Son.	Deficitario

Lo anterior no significa que las ciudades reportadas en estatus de equilibrio o superavitario se encuentren en buenas condiciones operativas, solo indica la relación existente entre demanda y oferta de servicios.

[36] Diagnóstico preliminar sobre transporte urbano de pasajeros y emisión de contaminantes al medio ambiente en siete ciudades de la región fronteriza de México:
https://www.nadb.org/uploads/files/15_diagnstico_transporte_urbano_en_7_cds_mexicanas_regin_fronteriza_de_mex_2012.pdf

Normatividad de la chatarrización

En los seis estados fronterizos del norte de México es factible desarrollar programas de sustitución vehicular, ya que sus marcos legales definen los umbrales de antigüedad o cuentan con bases para programas de sustitución. La media del umbral para sustituir los vehículos es en general de 10 años.

En Baja California, Chihuahua y Sonora, las leyes no son específicas en cuanto a los umbrales y la responsabilidad se delega a los municipios, para que en función de sus necesidades ajusten los tiempos en sus Reglamentos de Tránsito (en Tijuana se establecen 7 años como umbral). En Tamaulipas se permite extender el umbral si el costo-beneficio lo amerita, en función de un estudio de los beneficios sociales de la extensión. Existe una ausencia palpable de programas de apoyo para la sustitución de unidades de trasporte público en las ciudades estudiadas.

En general, las leyes vigentes en los estados referidas a sustitución vehicular o chatarrización no tienen calado y solo se mencionan tangencialmente, por lo tanto, no tienen expresión en leyes secundarias y mucho menos en ordenamientos municipales o programas concretos y operativos. Aunque hay lagunas y diferentes criterios en cuanto a los umbrales de edad para los vehículos de transporte urbano en México, generalmente se admiten 10 años como umbral permitido en el país, sin que la región fronteriza sea la excepción.

La única forma de impulsar la chatarrización es que los gobiernos apliquen fondos públicos para inducir la compra de autobuses nuevos, además de regular los mercados secundarios de reuso y reciclaje de partes usadas. Los incentivos gubernamentales pueden ser:

- Fiscales: Se disminuyen o exentan los impuestos sobre licencias de operación del vehículo.
- Económicos: Se entrega dinero en una cantidad equivalente o superior al “valor de rescate” de la unidad sustituida.
- Beneficios: Se garantiza el acceso sin costo a un servicio público por cierto tiempo.

Mercado de la sustitución de unidades de transporte público

Si bien las cuatro ciudades del estudio de impacto están dentro la región fronteriza definida por el BDAN, tienen características diferenciadas que determinan la composición y comportamiento de los parques vehiculares de transporte público. Dichas ciudades pueden diferenciarse:

- Agregándolas geográficamente: ciudades fronterizas limítrofes con la línea divisoria – Tijuana y Ciudad Juárez.
- Según su acceso a mercados nacionales y su condición fiscal: ciudades fronterizas del interior – Hermosillo y Monterey (ZMM)

Ciudades fronterizas limítrofes

En estas ciudades, el autobús escolar usado de origen estadounidense predomina fuertemente (90 % en promedio) y es el preferido de los transportistas por razones de precio, accesibilidad y resistencia. Reducir esa preferencia es complejo sin la existencia de programas de apoyo para la sustitución de sus unidades. Las marcas nacionales o globales casi no tienen presencia en el mercado fronterizo.

Ciudades fronterizas del interior

En estas ciudades la presencia de marcas nacionales y norteamericanas tradicionales es predominante (80%). Algunas marcas globales van abriéndose paso poco a poco en el mercado transportista del país, con mayor facilidad en el interior de México y con menos fuerza en la frontera. No existe autobús escolar usado en los parques vehiculares del interior de México.

Los ciclos de vida del transporte urbano son muy semejantes entre las ciudades limítrofes y del interior, con la única diferencia de que en las primeras los autobuses escolares usados pueden continuar en circulación por más de treinta años desde su construcción, mientras que en las ciudades del interior los autobuses típicos de transporte público pueden durar 20 años o más.

Integración y madurez

En el origen, los sistemas de transporte público del país se estructuraron bajo la fórmula de concesiones "hombre-camión", organizados en "líneas" definidas por la ruta donde prestaban el servicio. Con el paso del tiempo, esta fórmula fue insuficiente y por razones naturales ha ido mutando poco a poco a empresas debidamente constituidas[37], en intentos locales por reorganizar el transporte público urbano. Estas empresas han demostrado que la mejor forma de gestionar un sistema de transporte citadino es a través de un organismo integrador para toda la ciudad, y se han hecho esfuerzos en ese sentido.

El grado de evolución de un sistema de transporte público urbano, de un esquema fragmentado a otro integrado, define su madurez, que resulta vital para la existencia de programas de chatarrización. En mercados inmaduros el tema es irreconocible, mientras que los mercados maduros están en el momento adecuado para que estos fenómenos aparezcan. De esta suerte, los gobiernos locales y otras instituciones públicas y privadas deben inducir el proceso de maduración, para robustecer las economías de escala y acceder a los mercados financieros que impulsen los procesos de sustitución de las unidades obsoletas de transporte público.

Pavimentación

En general, en las ciudades fronterizas los pavimentos de las vialidades por donde transita el transporte público están en mal estado, lo que desalienta la inversión en unidades nuevas por el acelerado desgaste mecánico que sufren. La depreciación de una unidad nueva es muy costosa, y más en un ambiente de precios, tarifas e ingresos controlados por las autoridades locales.

En Tijuana, el 45 % de las calles pavimentadas se encuentran en buenas condiciones, pero el 21 % están en estado deplorable; en Ciudad Juárez las cifras son 57% y 18%, respectivamente, y en Hermosillo son 80% y 20%, respectivamente. La ZMM es la que menos padece de este problema.

Ningún transportista quiere invertir en una unidad nueva y costosa para que se deteriore en unos meses por las malas condiciones de los pavimentos.

Estudio de caso en Ciudad Juárez

Al cierre de 2020, en Ciudad Juárez existían 1,878 concesiones de transporte público urbano operando bajo el esquema de "hombre camión", agrupadas por rutas y sin asociarse en empresas.

Aunque existen diferentes fuentes y aproximaciones al parque vehicular de transporte público, a finales de 2020 se contabilizaban aproximadamente 6,400 unidades en operación, 69% dedicadas al transporte privado de personal de maquiladoras y 31% al transporte público.

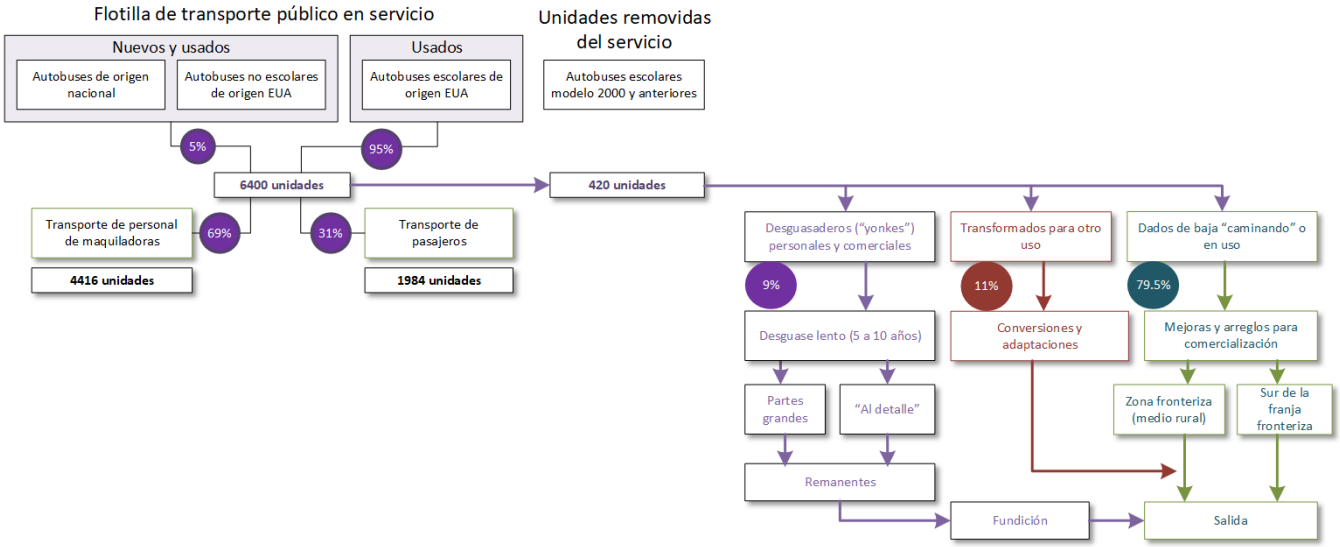
De las 6,400 unidades registradas, el 95% eran autobuses de transporte escolar usados de procedencia estadounidense, por su facilidad de adquisición e importación en la franja fronteriza. De la experiencia de campo se desprende que un autobús escolar usado procedente de los EUA cuesta de MX$120 a 200 mil pesos ($6 a 10 mil dólares)[38], mientras que uno nuevo comercializado en México cuesta de MX$1.4 a 2.5 millones de pesos ($70 a 120 mil dólares). El 90% de las unidades en servicio tenía un promedio de

[37] Sociedades Anónimas, Sociedades Civiles, Cooperativas y otras.
[38] Por ley, en los Estados Unidos los autobuses escolares son retirados del servicio público cuando acumulan 193,000 km recorridos o 10 años de antigüedad.

antigüedad de 15 años, aunque la Ley de Transporte Urbano del Estado de Chihuahua permite una antigüedad máxima de 10 años. Se estima que en año 2020 se retiraron del servicio de transporte urbano 420 unidades por diversas causas.

La figura 10 desglosa el parque vehicular de transporte urbano de pasajeros de Ciudad Juárez en 2020, indicando el destino de los autobuses retirados.

Figura 10 – Ciclo de vida de los autobuses de transporte público en Ciudad Juárez (2020)



Del estudio de caso en Ciudad Juárez se infiere que el destino final de las unidades de transporte público de las ciudades fronterizas limítrofes con los Estados Unidos es el siguiente:

- El 80% de las unidades retiradas anualmente del servicio público de las ciudades fronterizas limítrofes con los Estados Unidos se traslada a las zonas rurales aledañas, e incluso fuera de la región fronteriza propiamente dicha, para continuar funcionando por un tiempo indeterminado y sustituyendo seguramente a unidades aún más antiguas y contaminantes, que serán empujadas al final de la cadena de chatarrización.
- El 11% se transforma para proporcionar otros tipos de servicios, como transporte de agua, comercio ambulante y aulas escolares
- El 9% de desguaza lentamente en un lapso de 5 a 10 años.
- Los remanentes de estas tres corrientes son enviados a fundiciones y recicladoras de metales.

Por el balance anterior puede reconocerse la complejidad de implementar un mecanismo efectivo de chatarrización de las unidades retiradas del servicio público en la frontera norte de México, y más aún de vincularse con la sustitución por unidades nuevas, con estándares modernos de funcionamiento y cumplimiento ambiental.

Experiencias internacionales en la chatarrización de vehículos

Para impulsar la chatarrización y la renovación de los parques vehiculares, los gobiernos deben aplicar fondos públicos para motivar a los propietarios de vehículos, privados o empresariales e incluyendo concesiones para servicio público, en tanto que los estímulos del mercado no propician la adquisición de unidades nuevas, pero sí el desarrollo de mercados secundarios de comercialización de partes usadas y el reciclaje de los materiales que las conforman.

- Alemania
  - Estímulos de €2,500 a vehículos con más de 9 años de antigüedad: 600 mil vehículos y €1,500 millones.
  - El programa generó polémica porque los fabricantes que más se beneficiaron no fueron alemanes (Ford), y un error de control permitió la fuga de 50 mil vehículos hacía Europa del Este y África, con lo que se redujeron los beneficios ambientales del programa.
- Irlanda, 2009-2010
  - Descuento en impuestos de registro de los vehículos de €1,500 si emitían menos de 140 g CO_2/km.
- Estados Unidos, 2009 (CARS -*Car Allowance Rebate System*)
  - US$3,000 millones para apoyar a los ciudadanos norteamericanos para comprar vehículos más eficientes al intercambiar una unidad antigua.
  - 690,000 intercambios; se incrementó el rendimiento del consumo de gasolina de 6.7 a 10.6 km/litro (58% más eficiencia).
- España (Barcelona), 2016
  - Programa local para sustituir vehículos ligeros que otorga una tarjeta para uso gratuito del transporte público de la ciudad por tres años.
  - Incluye vehículos a diésel con más de 10 años y a gasolina con más de 20 años.
- Japón, 2009-2010
  - US$2,500 para adquirir vehículos más eficientes, construidos bajo normas japonesas: presupuesto total de US$3,700 millones.
  - Incentivo fiscal adicional para automóviles híbridos.
- China, 2009
  - Bonos de US$450 a US$900 para la sustitución de 2.7 millones de vehículos.
  - Fueron elegibles minivanes, camiones medianos y grandes y vehículos de transporte público que no cumplieran con el estándar de eficiencia establecido por el gobierno chino.

Conclusiones

Considerando las condiciones actuales de los mercados de unidades de transporte público en la región fronteriza del norte de México y la ausencia de programas de gobierno relacionados con la chatarrización de unidades obsoletas, el BDAN no identifica por el momento alguna oportunidad factible para certificar y financiar proyectos que atiendan la problemática de la chatarrización, vinculada con la renovación de los parques vehiculares de transporte urbano de pasajeros. Sin embargo, de implementarse las acciones necesarias, el BDAN podría estructurar un programa apoyado con fondos públicos etiquetados para tal fin, a través de mecanismos financieros *ad hoc* que garanticen el cumplimiento de los objetivos de los programas gubernamentales de chatarrización en la región fronteriza del norte de México.

1. Uno de los problemas principales para el desarrollo de los sistemas de transporte urbano en México es el otorgamiento de concesiones tipo “hombre-camión”.
2. El esquema “hombre-camión”, aunado a la ley que faculta en exclusiva a las autoridades locales para fijar el precio del pasaje de transporte urbano, propician la ineficiencia de los sistemas de transporte

público de las ciudades fronterizas. Las bajas tarifas resultan insuficientes para mantener las unidades en buen estado y reemplazarlas por modelos más recientes al término de su ciclo de vida.

3. Hay una gran oferta en Estados Unidos de autobuses escolares usados, con precios muy económicos (MX$120 a $200 mil pesos por unidad); entre 90 y 95 % de los autobuses de transporte urbano en las ciudades fronterizas limítrofes con los Estados Unidos son de este tipo. Las marcas nacionales casi no tienen presencia en el mercado fronterizo de autobuses.
4. Los autobuses usados se pueden importar a México cumpliendo con lo dispuesto por el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), solo para uso dentro de la zona fronteriza (30 km de la línea fronteriza), permitiéndose la importación de unidades de transporte escolar usados que al menos hayan cumplido diez años de antigüedad.
5. Las leyes vigentes en los estados fronterizos referidas a la sustitución vehicular y chatarrización no tienen calado y solo se mencionan tangencialmente, sin tener expresión alguna en leyes secundarias, y mucho menos, en ordenamientos municipales y programas operativos. Algunos reglamentos municipales autorizan el uso de vehículos de transporte urbano antiguos, en tanto pasen la verificación vehicular anual.
6. La llamada "chatarrización Institucional" no existe *de facto*, la única forma vigente es la "chatarrización tradicional". Para que exista la "chatarrización Institucional" deberían existir programas con recursos para comprar la unidad al propietario y poder enviarla directamente a reciclaje.
7. Existe un enorme mercado de refacciones usadas, así como numerosos talleres de todo tipo, que permiten el acceso a reparaciones de bajo costo que favorecen la movilidad de autobuses muy antiguos.
8. El destino previsible para un autobús urbano es terminar en cualquiera de dos lugares: en una fundición para su reciclaje, o abandonado en una casa, corralón, patio, *yonke* o el campo. Los que terminan fundidos, antes pasaron por un proceso de desguace en donde se les quitaron piezas útiles para reuso. Una minoría van a dar un uso intermedio como aulas, camiones de comida rápida, albergues temporales y otros, pero al finalizar este uso intermedio terminan fundidos o abandonados.
9. Un autobús urbano nuevo sí contribuye a disminuir la contaminación ambiental, ya que su ingreso a un sistema de transporte provocará que un autobús viejo y contaminante salga, ya sea que la introducción de una unidad nueva lleve a la salida directa de una más antigua, o que la salida definitiva sea a través de un escalonamiento de salidas por la compraventa mano a mano entre diversos propietarios.
10. Originalmente, 504 de las 722 unidades colocadas por el programa tenían etiqueta de sustitución, pero solo 464 reemplazaron a unidades antiguas, desconociéndose el destino de los vehículos removidos del servicio público.
11. Los pavimentos de calles y vialidades en mal estado desalientan notablemente la inversión en vehículos nuevos.

V - Evaluación Socio-Urbana y Percepción Ciudadana

Objetivo

Analizar la percepción que tienen los usuarios sobre los autobuses financiados por el programa de sustitución de transporte público por vehículos de bajas emisiones y su impacto en la calidad del servicio que reciben.

Metodología

Se aplicaron 1,372 cuestionarios de encuesta para generar un marco de opinión en las ciudades del estudio de impacto. El desarrollo de esta tarea implicó realizar trabajo de campo con los usuarios del transporte público en Tijuana, Hermosillo, Ciudad Juárez y la Zona Metropolitana de Monterrey.

En el diseño del experimento se definió el número de encuestas por ciudad que serían representativas del universo de personas susceptibles de utilizar el transporte público, resultando de 225 en Hermosillo y 384 en el resto de las ciudades[39]. Las "encuestas cara a cara" se aplicaron entre diciembre de 2020 y enero de 2021, mismas que produjeron 27,480 respuestas distribuidas en 15 reactivos. Adicionalmente, los encuestadores compilaron los comentarios y recomendaciones expresados por los usuarios en cada ciudad. Por la pandemia de COVID-19, se incluyó la percepción sobre las medidas sanitarias implementadas en las unidades de transporte público.

Los reactivos del cuestionario se enfocaron en obtener información sobre los siguientes conceptos:

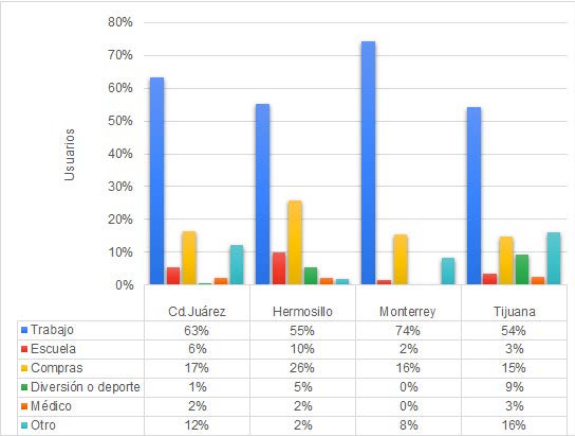
- Género
- Edad
- Escolaridad
- Situación laboral
- Gasto semanal en transporte
- Frecuencia de viajes
- Motivo de los viajes
- Acceso a unidades nuevas, de bajas emisiones
- Percepción de las características de las unidades de transporte
- Percepción de pertinencia de las tecnologías bajas emisiones
- Percepción de la importancia de la renovación de las unidades
- Percepción sobre la mejora en la calidad del servicio
- Percepción sobre medidas sanitarias durante la pandemia

Análisis de resultados

El motivo de los viajes en transporte urbano en las ciudades del estudio de impacto está relacionado mayormente con actividades económicas: trabajo y compras. En el caso de Ciudad Juárez llegan a ser el 80%, en Hermosillo el 81%, en Monterrey el 90% y en Tijuana el 69%; es decir, el transporte público es un componente esencial de las actividades económicas y comerciales de los habitantes.

[39] Para una población de usuarios de 20,000 o más, el número representativo de muestras se estabiliza entre 382 y 384.

Figura 11 - Motivo de los viajes en transporte público

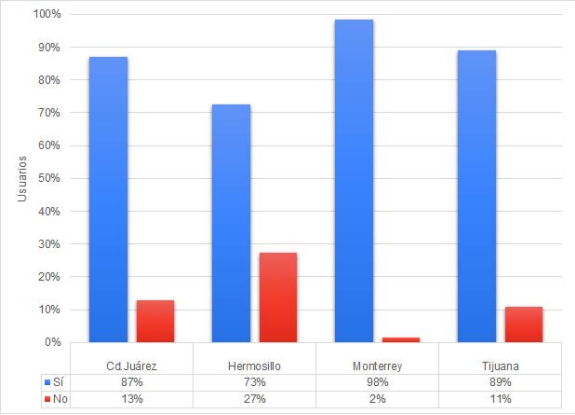


	Cd.Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
Trabajo	63%	55%	74%	54%
Escuela	6%	10%	2%	3%
Compras	17%	26%	16%	15%
Diversión o deporte	1%	5%	0%	9%
Médico	2%	2%	0%	3%
Otro	12%	2%	8%	16%

Sobre si existe una mejora significativa en los viajes en unidades nuevas en comparación con las unidades antiguas, la percepción es que sí, en Ciudad Juárez con 87%, en Hermosillo con 73%, en Monterrey con 98% y en Tijuana con 89%. La aprobación no es absoluta y los comentarios negativos incluyen los siguientes:

- Los choferes no cumplen con las expectativas mínimas de cortesía, pericia y precaución.
- Los choferes no respetan el aforo de las unidades, ni aún en condiciones de emergencia sanitaria, generando aglomeraciones de pasajeros.
- Las tarifas se consideran altas en relación con la calidad del servicio y el mal estado de conservación de los autobuses.

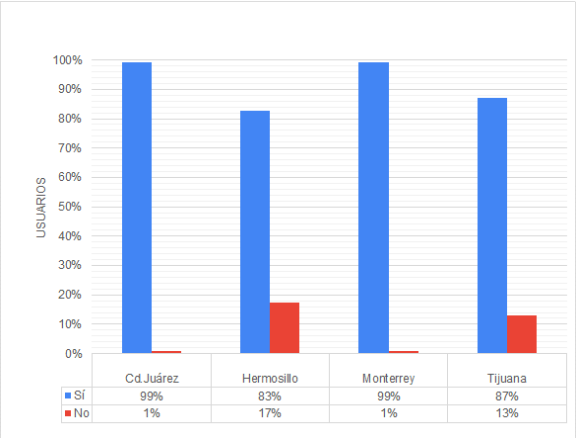
Figura 12 - Percepción de mejora de los viajes en las unidades nuevas



	Cd.Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
Sí	87%	73%	98%	89%
No	13%	27%	2%	11%

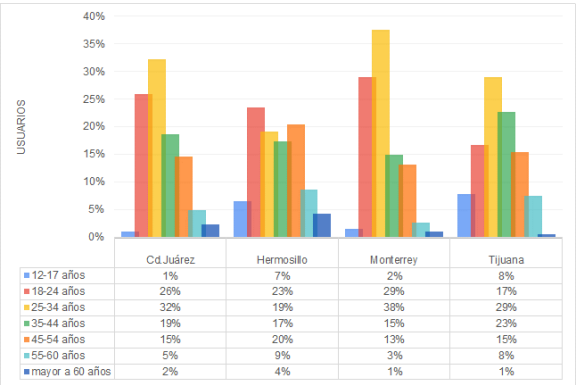
Sobre la importancia de reemplazar las unidades antiguas por unidades menos contaminantes, las respuestas favorecen el cambio: en Ciudad Juárez y Monterrey con 99%, en Hermosillo con 83% y en Tijuana con 87%.

Figura 13 - Percepción de la importancia de reemplazar con unidades menos contaminantes



En Ciudad Juárez, Monterrey y Tijuana el rango de edad predominante se ubicó entre 25 y 34 años, mientras que en Hermosillo fue entre 18 y 24 años. Si se considera que la población económicamente activa está los 18 y 60 años, el 97% de los usuarios de Ciudad Juárez y Monterrey se encuentran dentro ese rango, el 89% en Hermosillo y el 91% en Tijuana.

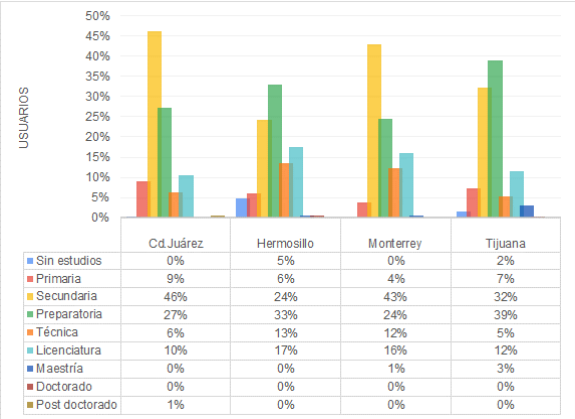
Figura 14 - Edad de los encuestados



El nivel académico de los encuestados se presenta en la siguiente figura:

- En Ciudad Juárez y Monterrey predominan los usuarios con educación a nivel secundaria, mientras que en Hermosillo y Tijuana son lo que tienen hasta preparatoria.
- El 17% de los usuarios de Ciudad Juárez tienen estudios técnicos o superiores, en Hermosillo el 30%, en Monterrey el 28% y en Tijuana el 20%. En ese sentido, Ciudad Juárez y Tijuana son muy similares, al igual que Hermosillo y Monterrey.
- En el otro extremo, Hermosillo reporta un 5% de usuarios sin estudios y Tijuana un 2%.

Figura 15 - Nivel académico de los encuestados

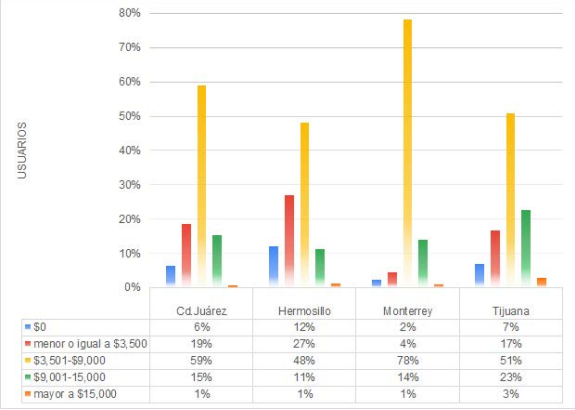


	Cd Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
Sin estudios	0%	5%	0%	2%
Primaria	9%	6%	4%	7%
Secundaria	46%	24%	43%	32%
Preparatoria	27%	33%	24%	39%
Técnica	6%	13%	12%	5%
Licenciatura	10%	17%	16%	12%
Maestría	0%	0%	1%	3%
Doctorado	0%	0%	0%	0%
Post doctorado	1%	0%	0%	0%

El análisis del ingreso promedio de los usuarios se basa en los salarios mínimos mensuales (SMM) oficiales, que, en Ciudad Juárez y Tijuana, por ubicarse en la "zona libre fronteriza", asciende a MXN$ 185.56 por día, mientras que Hermosillo y Monterrey, en la zona "resto del país", tienen un salario mínimo diario de MXN$ 123.22 pesos. Así, el salario mínimo mensual (SMM) en la zona libre fronteriza fue de MXN$ 5,644.12 en 2020, mientras que en el resto del país fue de MXN$ 3,747.86.

La mayoría de los usuarios fronterizos de los sistemas de transporte público perciben menos de 3 SMM, 99% en Ciudad Juárez, 97% en Tijuana, 89% en Hermosillo y 84% en la ZMM. El 12% de los usuarios de Hermosillo y el 2% de los de la ZMM manifestaron no tener ingresos en esos momentos. El costo del transporte público es crucial para la economía de estos usuarios.

Figura 16 - Ingreso mensual de los encuestados



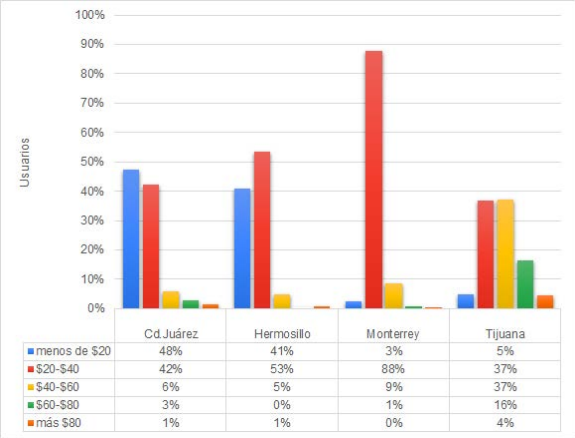
	Cd Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
$0	6%	12%	2%	7%
menor o igual a $3,500	19%	27%	4%	17%
$3,501-$9,000	59%	48%	78%	51%
$9,001-15,000	15%	11%	14%	23%
mayor a $15,000	1%	1%	1%	3%

En las ciudades donde se aplicaron las encuestas se tienen las siguientes tarifas de transporte público[40]: Ciudad Juárez $8 pesos, Hermosillo $9 pesos, Tijuana de $12 a $17.50 pesos y Monterrey de $12 a $18 pesos. El 69% de los encuestados manifestaron gastar entre $20 y $60 pesos semanales en transporte, equivalente aproximadamente al 6% del ingreso mensual de una familia de 3.4 integrantes[41].

[40] Consulta de campo con los usuarios de diferentes rutas.

[41] Esta cifra puede ser hasta el doble en condiciones normales, sin la inmovilidad inducida por covid-19 en la población.

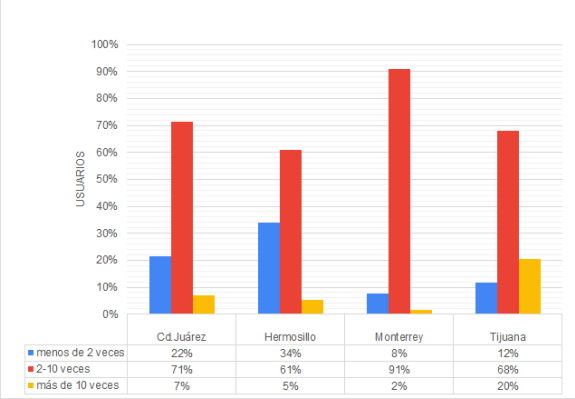
Figura 17 - Gasto por semana en transporte



	Cd.Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
menos de $20	48%	41%	3%	5%
$20-$40	42%	53%	88%	37%
$40-$60	6%	5%	9%	37%
$60-$80	3%	0%	1%	16%
más $80	1%	1%	0%	4%

Los entrevistados manifestaron utilizar el transporte público de 2 a 10 veces por semana, de lunes a viernes.[42]

Figura 18 - Uso semanal del transporte público



	Cd.Juárez	Hermosillo	Monterrey	Tijuana
menos de 2 veces	22%	34%	8%	12%
2-10 veces	71%	61%	91%	68%
más de 10 veces	7%	5%	2%	20%

Hallazgos

De las respuestas a preguntas directas, así como de los comentarios libremente expresados por los usuarios, se desprenden los siguientes puntos:

- El programa de introducción de unidades nuevas de transporte público ha sido exitoso, en tanto que los usuarios perciben una mejora en la calidad de los viajes que realizan en éstas.
- Los usuarios perciben como más importante, antes que la sustitución de unidades antiguas por nuevas, que los choferes los traten con más cortesía, que tengan más pericia y precaución para manejar y que respeten el aforo de los autobuses.
- Los usuarios opinan que el reemplazo de unidades debe considerar la siguiente priorización: a) climatización interior de las unidades, b) estabilidad mecánica, c) menos emisiones contaminantes y d) sin olores desagradables.

[42] Los datos de uso semanal del transporte público posiblemente están distorsionados por la pandemia.

- Los principales motivos de los viajes son trabajo y compras, confirmándose que los medios de transporte público favorecen fuertemente las actividades económicas de las ciudades.
- El nivel de estudios de los usuarios del transporte público es: Secundaria 36%, Preparatoria 31%, Licenciatura 14% y Técnico 9%.
- El ingreso económico de aproximadamente el 92% de quienes usan el transporte público es de menos de 3 salarios mínimos mensuales; la relación entre la población de menor ingreso y su participación en las actividades económicas revela lo crítico que es el transporte público para dicho sector.
- El 69% de la población entrevistada gasta entre $20 y $60 pesos a la semana en transporte.
- Las tarifas cobradas en las unidades antiguas se consideran altas, en relación con la calidad del servicio recibido.
- Sobre las medidas sanitarias adoptadas por la emergencia de COVID-19, los usuarios del transporte perciben que las unidades no son desinfectadas adecuadamente por los operadores.