

Relación de accidentalidad para vehículos por nivel de seguridad

DIEGO DÍAZ PÉREZ

Investigador

diego.diaz@imco.org.mx

@Diego_DiazP

PABLO CLARK DOBARGANES

Investigador

Pablo.clark@imco.org.mx

@Pablocarkd

ÓSCAR RUÍZ PRIEGO

Coordinador de tecnología y ciencia de datos

diego.diaz@imco.org.mx

@oscarrpriego

Fecha: 29-03-2021

Relación de accidentalidad para vehículos por nivel de seguridad

DIEGO DÍAZ PÉREZ

Investigador

diego.diaz@imco.org.mx

@Diego_DiazP

PABLO CLARK DOBARGANES

Puesto Arial Regular 11pt

pablo.clark@imco.org.mx

@Pablocarkd

ÓSCAR RUÍZ PRIEGO

Coordinador de tecnología y ciencia de datos

oscar.ruiz@imco.org.mx

@oscarrpriego

Relación de accidentalidad para vehículos por nivel de seguridad

El objetivo de este estudio es analizar la relación entre la penetración de sistemas y dispositivos de seguridad en el mercado de vehículos ligeros en México (caracterizada por las ventas de vehículos que están equipados con estos dispositivos) y la ocurrencia de muertes y lesiones por siniestros viales en México.

Aunque la información pública disponible no permite determinar relaciones de causalidad, sí es posible, con este primer acercamiento, detectar aquellas relaciones que son más robustas y que son de mayor interés para estudios futuros enfocados en probar dicha causalidad.

Con el análisis de datos a nivel nacional se validó la existencia de relaciones significativas y robustas entre la presencia de dispositivos y sistemas de seguridad en el mercado y la reducción de muertes y lesiones ocurridas en siniestros viales. Las relaciones se validaron tanto para conductores y pasajeros víctimas de siniestros viales como para víctimas peatones. Igualmente se validó la relación entre el aumento de víctimas ocupantes de vehículos y la venta de vehículos con mal desempeño en pruebas de choque.

Contenido

Introducción	5
1. Comportamiento de siniestros viales en zonas urbanas y suburbanas	8
1.1 Tipo de hecho vial	
1.2 Tendencias en la ocurrencia de siniestros viales y las muertes y lesiones asociadas	
1.3 Siniestros viales, muertes y lesiones de peatones	
1.4 Causas del hecho vial	
1.5 Superficie de rodamiento	
2. Comportamiento de la oferta de dispositivos y sistemas de seguridad en automóviles	13
2.1 Cantidad de vehículos considerados por modelo y marca.	
3. Datos	18
4. Modelos econométricos	20
4.1. Análisis siniestros viales	
4.2. Análisis de lesiones de conductores y pasajeros en siniestros viales	
4.2.1 Lesiones de conductores y pasajeros y dispositivos de seguridad	
4.2.2 Lesiones de conductores y pasajeros y pruebas de choque	
4.3. Análisis de muertes de conductores y pasajeros en siniestros viales	
4.3.2 Muertes de conductores y pasajeros y pruebas de choque	
4.4 Análisis de lesiones en peatones	
4.4.1 Análisis lesiones de peatones y dispositivos de seguridad	
4.5 Análisis de muertes de peatones y dispositivos de seguridad	
5. Resultados	32
5.1. Siniestros viales	
5.2. Lesiones en hechos de tránsito	
5.3. Muertes de conductores y pasajeros en siniestros viales.	
5.4 Lesiones y muertes de peatones en siniestros de tránsito.	
5.4.1 Lesiones de peatones	
5.4.1 Muertes de peatones	
6. CONCLUSIONES	41

Introducción

El objetivo de este estudio es analizar la relación entre la penetración de sistemas y dispositivos de seguridad en el mercado de vehículos ligeros en México (caracterizada por las ventas de vehículos que están equipados con estos dispositivos) y la ocurrencia de muertes y lesiones por siniestros viales en México. Para esto se analiza el comportamiento de ventas de vehículos por dispositivo de seguridad y se compara contra la tendencia en el tiempo del registro de muertes y lesiones en zonas urbanas y suburbanas del país. El análisis se lleva a cabo tanto sobre muertes y lesiones de pasajeros y conductores, como sobre muertes y lesiones de peatones por separado, esto debido a la naturaleza y objetivo final de cada dispositivo. Para el caso de conductores y pasajeros, se lleva a cabo un análisis particular sobre la penetración en el mercado de vehículos con diferentes niveles de desempeño en pruebas de choque.

Aunque la información pública disponible no permite determinar relaciones de causalidad, sí es posible, con este primer acercamiento, detectar aquellas relaciones que son más robustas y que son de mayor interés para estudios futuros enfocados en probar dicha causalidad.

Las fuente de datos de siniestros viales, muertes y lesiones es la base de datos de Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas publicada por el Instituto Nacional de Geografía y estadística (INEGI)¹. Esta fuente ofrece un sistema de captura estable en el tiempo, lo que permite analizar tendencias que, para el enfoque de este documento, son de mayor interés que los totales.

Otra razón para utilizar esta fuente de información es la disponibilidad de información complementaria sobre las circunstancias en las que ocurrieron los siniestros, un ejemplo de esto es la especificación del tipo de accidente. Esta información es de suma importancia para caracterizar adecuadamente las relaciones entre hechos de tránsito y sistemas de seguridad vehicular.

Para un análisis enfocado al conteo e impacto social y económico del total de muertes y lesiones ocurridas en hechos de tránsito, se recomienda consultar el documento *Estimación de los costos sociales y económicos de los hechos de tránsito en México*², donde se utiliza información de la

¹ Inegi, *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*, Disponible en <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/accidentes.asp?>

² IMCO, *Estimación de los costos sociales y económicos de los hechos de tránsito en México*, 2021. Disponible en www.imco.org.mx.

*Estadística de defunciones generales*³ de Inegi y de *Egresos Hospitalarios de la Secretaría de Salud*⁴ para calcular los costos asociados a las muertes y lesiones ocurridas en hechos de tránsito.

Para la información relacionada con dispositivos y niveles de seguridad por modelo y marca se utilizó una base de datos elaborada por El Poder del Consumidor (EPC) que recopila información de dispositivos de seguridad y desempeño integral de seguridad para 437 modelos disponibles en el mercado, esta información está disponible en el portal *¿Qué tan seguro es tu auto?*⁵. Los vehículos incluidos en la base de datos de EPC representan el 56% de las ventas totales de vehículos nuevos desde 2015 hasta 2020. La caracterización de vehículos para el análisis del comportamiento de las ventas no toma en cuenta en ningún momento la marca o submarca, se basa únicamente en la presencia de dispositivos de seguridad y en el desempeño de pruebas de choque.

De acuerdo con la literatura⁶, la ocurrencia de siniestros viales y sus consecuencias pueden ser influenciados por las velocidades promedio, la cantidad de automóviles circulando, las condiciones del camino, las condiciones del conductor (experiencia y consumo de alcohol), uso del cinturón de seguridad y factores asociados al equipamiento de los vehículos como son los dispositivos o sistemas de seguridad vehicular.

Algunos sistemas y dispositivos de seguridad se enfocan en evitar la ocurrencia de siniestros, como por ejemplo el sistema de control electrónico de estabilidad (ESC por sus siglas en inglés) que permite el frenado individual de las ruedas en situaciones de riesgo para evitar derrapes, sobrevirajes y subvirajes. A estos sistemas se les llama sistemas activos.

Por otro lado, hay sistemas y dispositivos enfocados a mitigar el daño o las consecuencias de los siniestros viales. El ejemplo más conocido de estos sistemas es el cinturón de seguridad. A estos se les llama sistemas pasivos.

³ Inegi, *Estadística de defunciones generales*, Datos - Registros Administrativos y estadísticas.

<https://www.inegi.org.mx/programas/mortalidad>

⁴ Ssa, *Egresos hospitalarios*, Datos abiertos,

http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_egresoshosp_gobmx.html (Consultado el 30/04/2020).

⁵ El Poder del Consumidor, *¿Qué tan seguro es tu auto?*, disponible en

https://www.google.com/url?q=https://quetanseguroestuauto.org/fichas/&sa=D&source=editors&ust=1615399178648000&usg=AOvVaw0yLAux_3qr7e20kKx8Kb3k

⁶ European Transport Safety Council, ETSC. *Transport safety performance indicators*. Brussels, 2001. <https://etsc.eu/transport-safety-performance-indicators/>

Otros factores asociados a la ocurrencia de siniestros, lesiones o muertes, pueden estar asociados a demografía (por ejemplo, densidad de población) o condiciones económicas y sociales locales (calidad de la infraestructura vial, respeto de los límites de velocidad, etc.). Estas últimas se dejaron fuera del estudio debido a la desagregación de la información de ventas, la cual solo está disponible a nivel nacional.

Cada factor asociado a la ocurrencia de siniestros viales fue incluido en el análisis por medio de variables control o filtrando la información de origen. Para el caso de la velocidad, se utilizó información proveída por Sin Tráfico⁷, una empresa enfocada en la generación de datos de flujo vehicular en tiempo real. El resto de las variables de control están contenidas en la base de datos de siniestros viales del INEGI, tal es el caso de superficie de rodamiento, uso del cinturón de seguridad y consumo de alcohol. Para el caso de la congestión vehicular, se asume que está contenida implícitamente en la variable de velocidades así como en los niveles de ventas de vehículos. Como se mostrará en las secciones siguientes, esta relación se identifica en el componente estacional de las series de tiempo.

Aunque la desagregación geográfica de la información es a nivel nacional y presenta dificultades para probar una relación causal, los resultados son un avance muy importante en el análisis del papel que juegan los dispositivos de seguridad vehicular en la reducción de muertes y lesiones en siniestros viales en México.

⁷ <http://sintrafico.com/>

1. Comportamiento de siniestros viales en zonas urbanas y suburbanas

En esta sección se analiza el comportamiento del registro de siniestros viales, así como lesiones y muertes ocurridas en ellos a través del tiempo. Como se mencionó anteriormente, la fuente de datos utilizada es el registro de Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas publicada por el INEGI (ATUS). Aunque esta fuente de información ofrece beneficios como la regularidad y robustez metodológica, presenta algunas limitantes importantes de considerar. La primera está relacionada con el sistema de captura, de acuerdo con la *Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas 2016*⁸, la información capturada es proporcionada por las agencias del ministerio público en los estados y los juzgados cívicos en la Ciudad de México, así como por las dependencias de seguridad pública y vialidad, en los estados o municipios, esto sugiere que los incidentes reportados en la fuente de datos son aquellos de mayor gravedad donde se requirió la presencia de las autoridades. Se puede inferir que eventos menos graves no fueron registrados por Inegi.

Por otro lado, dado que la captura de información se hace en el sitio, es posible que haya una subestimación de muertes y a una sobrestimación de lesiones, esto se puede corroborar analizando información de defunciones publicada por Inegi, donde el total de fallecimientos es mayor al registrado en ATUS. Finalmente, se debe de considerar que este sistema de información solo toma en cuenta personas mayores de 12 años, por un lado esto lleva de nuevo a la subestimación de muertes y lesiones, por otro lado no permite llevar a cabo análisis de correlación entre siniestros viales y resultados de protección de menores en pruebas de choque.

A pesar de las limitantes en el conteo y clasificación de hechos, muertes y lesiones, la estabilidad metodológica permite hacer análisis de tendencias así como de correlaciones con variables de interés.

⁸ Inegi, *Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*, 2016. Disponible en https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825087999.pdf

1.1 Tipo de hecho vial

INEGI considera en su base de datos 12 categorías para clasificar siniestros viales:

- Colisión con vehículo automotor
- Colisión con peatón (atropellamiento)
- Colisión con animal
- Colisión con objeto fijo
- Volcadura
- Caída de pasajero
- Salida del camino
- Incendio
- Colisión con ferrocarril
- Colisión con motocicleta
- Colisión con ciclista
- Otro

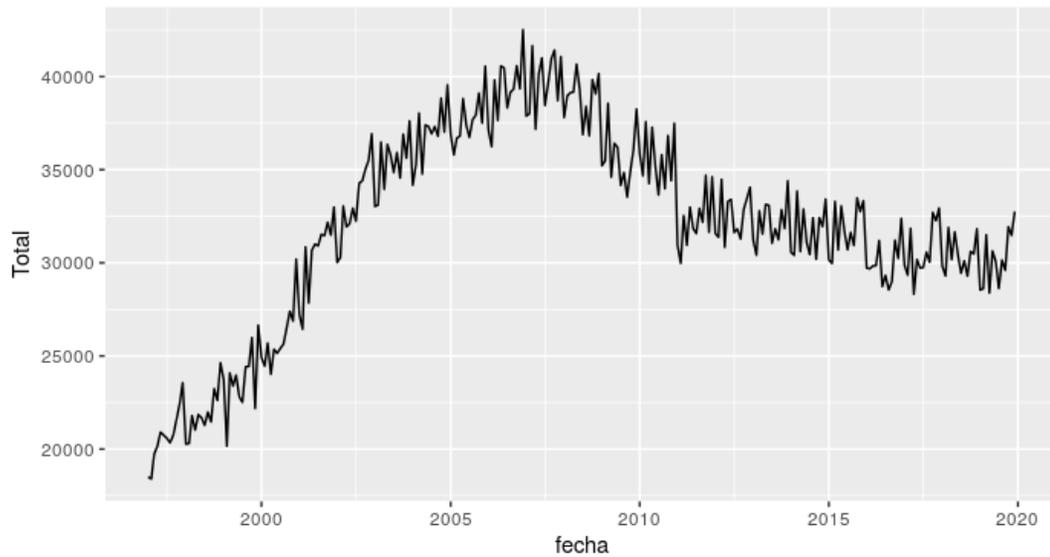
De estas 12 categorías, se analizan aquellas en donde se considera que los dispositivos de seguridad pueden tener algún tipo de influencia. Bajo este criterio se dejaron fuera las categorías “Caída de pasajero”, “Incendio” y la categoría “Otro”.

1.2 Tendencias en la ocurrencia de siniestros viales y las muertes y lesiones asociadas.

Como lo indican las gráficas correspondientes, tanto en la cantidad de hechos como en la de muertes y lesiones, se observa una disminución sostenida en los últimos 10-15 años, sin embargo, los datos reportados por INEGI muestran que la tendencia de descenso se ha detenido.

En el caso del conteo de siniestros viales, desde 2007 se observa una tendencia a la baja, sin embargo, esta tendencia se hace más lenta a partir de 2011 y en 2016 parece entrar en un periodo sostenido alrededor de los 300 mil siniestros viales al mes.

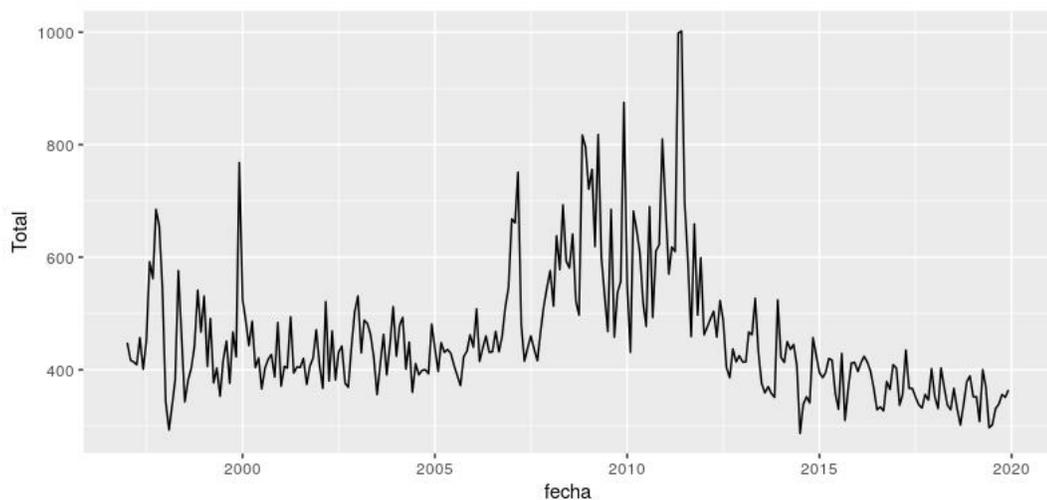
Gráfica 1. siniestros viales mensuales (enero 1997-diciembre 2019)



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos del INEGI. Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas.

Para el caso de muertes asociadas a incidentes viales, después de mostrar los más altos niveles de ocurrencias entre 2008 a 2011, estas han ido a la baja desde 2012 y se han mantenido por debajo de las 600 muertes mensuales. Sin embargo esta tendencia a la baja parece llegar a un punto de estabilización hacia finales de 2019 manteniéndose alrededor de las 350 muertes al mes.

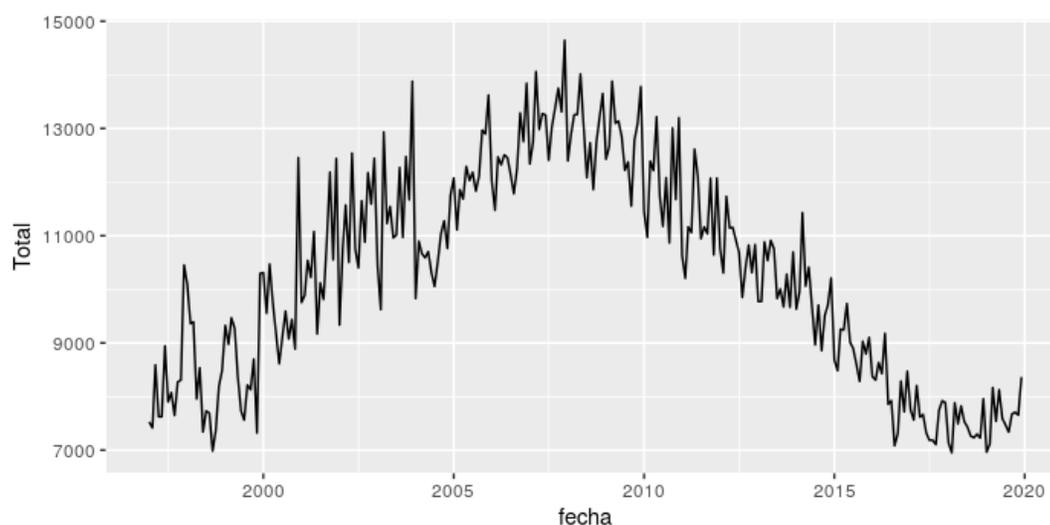
Gráfica 2. Muertes viales mensuales (enero 1997-diciembre 2019)



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos del INEGI. Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas

Al igual que las muertes en siniestros viales, las lesiones mostraban una tendencia a la baja que inició desde 2013, sin embargo, cerca de 2017 se detuvo esta tendencia y el número de personas lesionadas se han mantenido sin cambios alrededor de 7500 casos al mes.

Gráfica 3. Lesiones viales mensuales (enero 1997-diciembre 2019)



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos del INEGI. Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas

1.3 Siniestros viales, muertes y lesiones de peatones

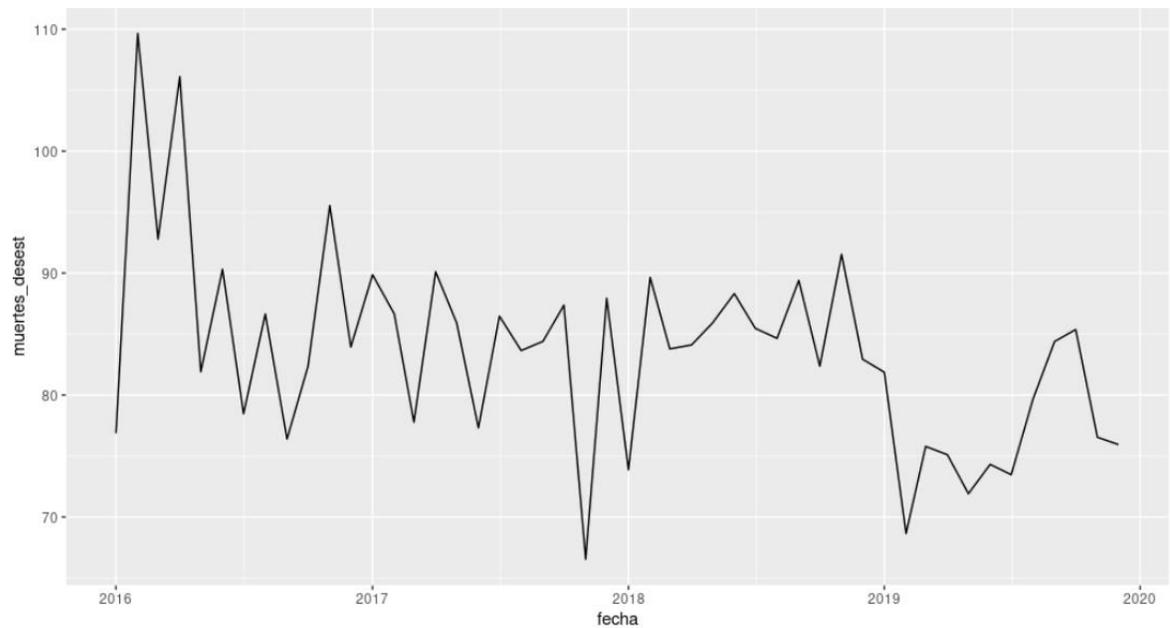
Durante muchos años las ciudades mexicanas han dado mayor prioridad al desplazamiento de vehículos sobre el desplazamiento de personas, esta priorización ha creado infraestructura que deja en situación de vulnerabilidad a los peatones. La seguridad del peatón se ha convertido en un problema de salud pública debido a la gran cantidad de fatalidades y lesiones que ocurren diariamente. Las muertes de peatones se encuentran entre las tres primeras causas de muerte a nivel mundial para personas de entre 5 a 45 años⁹.

De acuerdo con el registro de INEGI, las muertes de peatones han tenido una ligera tendencia a la baja entre 2016 y 2020, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el registro de muertes en

⁹ ITDP, Caminar la ciudad, 2014. Disponible en <https://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/CaminarLaCiudad.pdf>

siniestros viales del inegi, tiene una tendencia a la subestimación. A pesar de esto, es posible hacer un análisis sobre las tendencias y su asociación con el uso de sistemas de protección a peatones en automóviles.

Gráfica 4. Muertes desestacionalizadas de peatones en siniestros viales (enero 2016-diciembre 2019)



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos del INEGI. Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas

1.4 Causas del hecho vial

En el registro de INEGI se consideran las siguientes categorías para clasificar las causas de los siniestros viales:

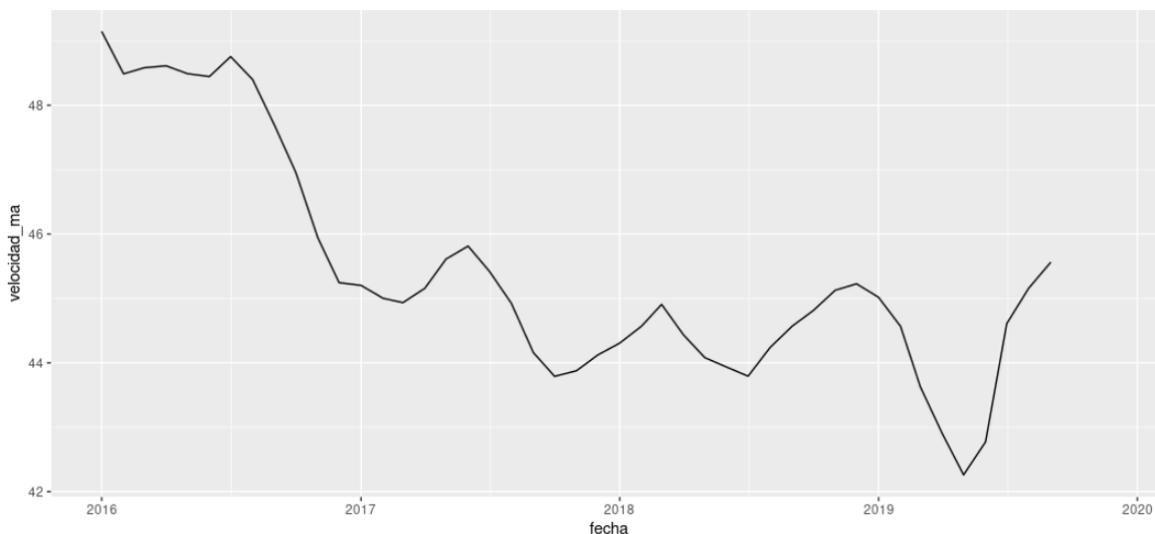
- Conductor
- Peatón o pasajero
- Falla del vehículo
- Mala condición del camino

Todas las causas fueron consideradas para evaluar la relación con los dispositivos de seguridad.

1.5 Superficie de rodamiento

El INEGI considera dos categorías para este rubro, vialidad pavimentada o vialidad no pavimentada. Dada la relación de la superficie de rodamiento con la velocidad, el estudio considera ambas superficies e introduce velocidades promedio como variable de control.

Gráfica 5. Velocidades promedio en zonas urbanas (promedio móvil).



En la gráfica uno se puede observar una reducción consistente de las velocidades promedio en zonas urbanas. Esta reducción puede deberse al aumento de la congestión vehicular en las principales ciudades mexicanas. El aumento de la congestión y la reducción de velocidades asociado puede ser un factor que influye directamente en la ocurrencia de siniestros viales.

2. Comportamiento de la oferta de dispositivos y sistemas de seguridad en automóviles

Para el presente estudio se llevó a cabo un cruce de información de la base de datos de dispositivos de seguridad proporcionada por EPC y la información sobre ventas de automóviles nuevos del Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros (RAIA) publicado por el INEGI.

La base de datos de EPC contiene información sobre si el vehículo incluye o no determinado dispositivo de seguridad. Los dispositivos incluidos son los siguientes:

1. Bolsas de aire frontales (AB Frontales).

Dispositivos instalados en el volante y tablero de un vehículo que se despliegan e inflan con un gas inerte, en fracciones de segundo, para impedir que los pasajeros de los asientos delanteros se impacten contra las partes duras del interior del vehículo, ante un choque frontal de cierta consideración.

2. Bolsas de aire laterales para el cuerpo (AB Laterales cuerpo).

Dispositivos instalados en los laterales de los asientos y/o puertas del vehículo, que se despliegan e inflan con un gas inerte, en fracciones de segundo, para reducir los riesgos de lesiones de los pasajeros ante la deformación de los costados por un choque lateral.

3. Bolsas de aire laterales para la cabeza (AB Laterales cabeza).

Dispositivos instalados en el marco superior de las puertas de un vehículo, que se despliegan e inflan con un gas inerte, en fracciones de segundo, cubriendo el área de las ventanas para distribuir las fuerzas de impacto y proteger la cabeza de los pasajeros ante un choque lateral.

4. Bolsas de aire para rodillas (AB Rodillas).

Dispositivos instalados en el tablero inferior de un automóvil, que se despliegan e inflan con un gas inerte, en fracciones de segundo, para distribuir las fuerzas de impacto en las piernas de los ocupantes delanteros y protegerlas. Estas bolsas también pueden reducir las fuerzas de impacto en el abdomen y el pecho.

5. Sistema de frenos antibloqueo (ABS)

Sistema que detecta el derrape de las llantas y automáticamente modula la presión que produce las fuerzas de frenado en la (s) llanta (s) para limitar el grado de derrape de la rueda. También ayuda a reducir la distancia de frenado en seco y en algunas condiciones resbalosas.

6. Control electrónico de estabilidad (ESC)

Sistema que detecta, a través de diversos sensores, cuando el vehículo está a punto de derrapar y frena alguna rueda, de manera autónoma, para mantener el control. Evita gran parte de los derrapes y volcaduras. Funciona bajo el control de una computadora que utiliza un algoritmo de circuito cerrado para limitar el sobreviraje y el subviraje del vehículo.

7. Frenado Autónomo de Emergencia (AEB)

Sistema que puede detectar automáticamente una colisión frontal inminente y activa en el vehículo sistema de frenado para desacelerar el vehículo con el fin de evitar o mitigar una colisión.

8. Sistemas de retención infantil (SRI: Isofix/LATCH)

Dispositivo capaz de acomodar a un niño ocupante en una posición sentada. Está diseñado para reducir el riesgo de lesiones al usuario, en caso de colisión o de desaceleración brusca del vehículo, limitando la movilidad del cuerpo del niño. Se le conoce popularmente como asiento infantil para vehículos, especialmente diseñados para la estatura y el peso de bebés y niños de hasta 1.45 m. Si un vehículo cuenta con anclajes LATCH/ISOFIX se facilita la instalación de un SRI y el menor viaja más seguro que si se instala con cinturón de seguridad. El ISOFIX es una conexión rígida del SRI y el automóvil a través de dos puntos de fijación estandarizados.

9. Cinturones de tres puntos en cada plaza

Sistema de banda sujetadora que cruza sobre los huesos de la cadera y en diagonal por el pecho de cada ocupante para retenerlo en el asiento y evitar que se golpee contra otros pasajeros, partes internas del auto, o salga despedido del mismo en caso de colisión o volcadura.

10. Apoya cabeza en cada plaza

Parte superior del asiento de cada asiento del vehículo diseñada para evitar que la cabeza sufra movimientos violentos hacia atrás y que el cuello sufra lesiones, en el caso de recibir un choque posterior.

Adicionalmente, la base de datos registra el desempeño de una muestra de vehículos en pruebas de choque. Los resultados de estas pruebas de choque se presentan en una clasificación por estrellas, donde cero estrellas es la calificación para el desempeño más bajo y cinco estrellas es la calificación para el desempeño más alto. La base de datos contiene calificaciones de pruebas de choque bajo dos protocolos, el primero enfocado a la seguridad de pasajeros menores de 12 años y el otro se enfoca a seguridad de pasajeros mayores de 12 años. Por restricciones de la información contenida en la base de datos del INEGI, el estudio se enfoca en el protocolo para personas mayores de 12 años. La base de datos contiene información para vehículos modelo-año 2016 hasta 2020.

Para este estudio estadístico se utilizaron los resultados del *Protocolo de evaluación de Protección de ocupantes adultos* de latinNCAP correspondientes al 2013¹⁰.

La información de ventas de vehículos nuevos del RAIA contiene la cantidad de unidades vendidas por modelo y marca de manera mensual desde 2005 hasta 2020. Para poder determinar la presencia en el mercado de los diferentes dispositivos de seguridad se emparejaron la marca, modelo y año de venta del RAIA con la marca, modelo y modelo-año de la base de datos de EPC.

Debido a que el modelo-año no siempre coincide con el año de venta, fue necesario trabajar con los siguientes supuestos:

1. Un auto modelo-año X se puede vender en el año X-1 o en el año X.
2. El 100% de los vehículos del modelo-año X se deben de vender un año antes o en el año vigente.
3. Haciendo análisis de comportamiento estacional de la venta de automóviles, así como mediante búsqueda de información en línea y con entrevistas a diferentes actores que hacen análisis del sector automotriz, se determinó que la venta de vehículos modelo-año X+1 inicia en promedio en mayo del año X. Desde ese momento, los niveles de ventas aumentan progresivamente.
4. Haciendo uso del comportamiento estacional de las ventas de automóviles se determinó la progresión de los niveles de ventas de los vehículos modelo-año X+1 en el año X. Derivado del primer supuesto, esto permite también determinar la participación en el mercado de los vehículos modelo X en el año X. Así, la composición del mercado de automóviles por modelo-año en el año X es de la siguiente manera:
 - Enero: 100% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X.
 - Enero: 100% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X.
 - Febrero: 100% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X.
 - Marzo: 100% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X.
 - Abril: 100% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X.
 - Mayo: 94% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 6% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
 - Junio: 93% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 7% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1

¹⁰ *Nuestros ensayos*, Latin NCAP. Disponible en <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos>

- Julio: 93% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 7% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
- Agosto: 89% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 11% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
- Septiembre: 93% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 7% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
- Octubre: 86% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 14% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
- Noviembre: 78% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 22% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1
- Diciembre: 50% de los vehículos vendidos en el año X son modelo-año X y 50% de los vehículos vendidos son modelo-año X+1

2.1 Cantidad de vehículos considerados por modelo y marca.

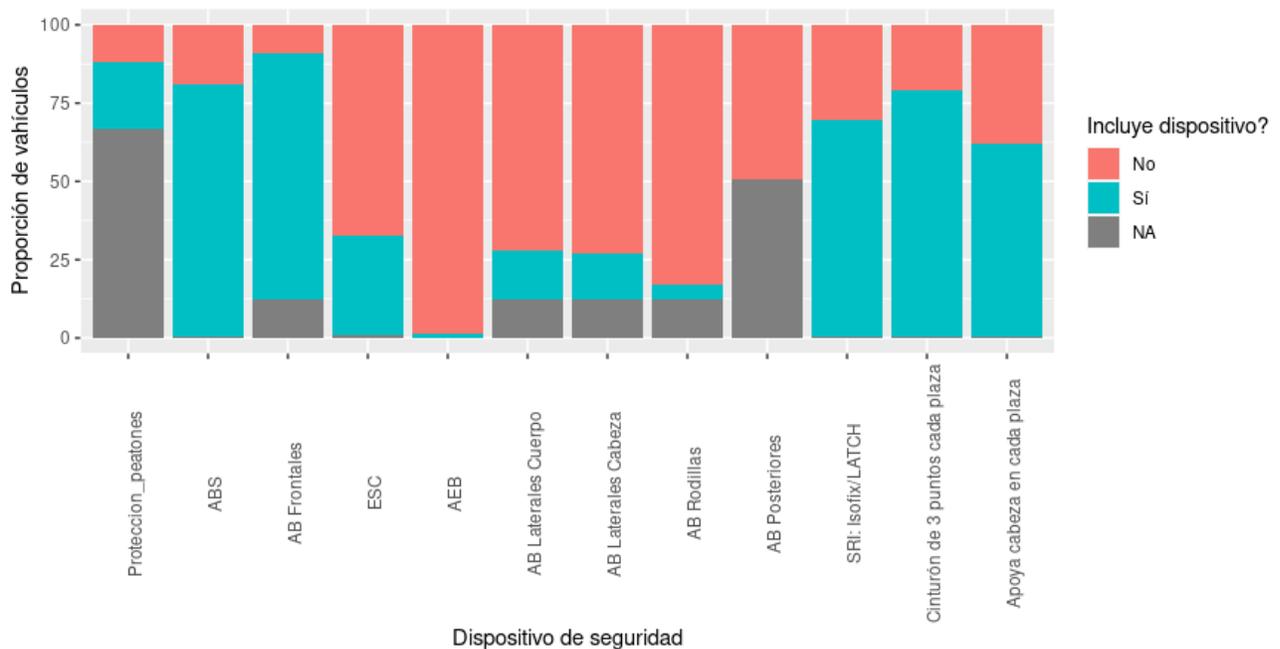
Los vehículos considerados en la base de datos de EPC son los que registran mayores niveles de ventas. El rango de tiempo del estudio considera vehículos vendidos en 2015 hasta 2019. De 2015 a 2019 el RAIA registró 7,241,089 vehículos vendidos. La venta de vehículos considerados en la base de EPC representa el 56% de la venta total en el rango de tiempo del estudio. En la tabla 1 se muestran los vehículos más vendidos en los años considerados:

Tabla 1. Modelos más vendidos entre 2016 y 2020

Marca	Modelo	Total_ventas
Nissan	Versa	361,017
General Motors	Aveo	308,805
Volkswagen	Vento	234,353
Nissan	NP300	228,722
Nissan	Sentra	147,297
General Motors	Spark	145,633
Volkswagen	Jetta	108,239
Nissan	March	104,172
Nissan	Xtrail	90,297
Ford motor	Figo	87,860

En la gráfica 6 se muestra el porcentaje de vehículos que ofrecen los diferentes dispositivos de seguridad considerados por EPC. Se puede observar que los dispositivos más presentes en los vehículos vendidos durante el periodo de estudio son el sistema ABS y las bolsas de aire frontales. De igual manera el cinturón de seguridad de tres puntos en cada plaza, el SRI y los apoyacabezas son dispositivos muy presentes. El ESC y el AEB, así como las bolsas de aire distintas a las frontales no son dispositivos presentes en el mercado mexicano.

Gráfica 6. Porcentaje de automóviles que cuentan con dispositivos de seguridad vehicular (2015-2019).



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos del EPC e INEGI.

Ventas por dispositivo

3. DATOS

Con la finalidad de caracterizar la relación entre la presencia de dispositivos de seguridad en el mercado, el desempeño de automóviles en pruebas de choque y la ocurrencia de siniestros viales y muertes o lesiones asociadas a estos, se construyó una base de datos con información mensual a nivel nacional de conteos de siniestros viales, conteos de personas fallecidas como consecuencia de un hecho vial, conteos de personas lesionadas en un hecho vial, proporciones por dispositivo de seguridad

de automóviles nuevos vendidos con ese equipamiento y proporciones de vehículos por calificación obtenida en pruebas de choque.

La base de datos incluye también conteos desagregados de acuerdo a la presencia de aliento alcohólico en los siniestros viales así como las velocidades promedio del mes para zonas urbanas a nivel nacional.

Se analizó también el comportamiento estacional de hechos, muertes, lesiones, ventas y velocidades. Los modelos econométricos utilizan la información desestacionalizada.

En el Anexo 1 se describe de forma detallada cada una de las variables empleadas en los modelos econométricos que se presentan en la siguiente sección, la forma en que se miden y las fuentes de donde provienen. Es importante señalar que los modelos estadísticos/econométricos utilizados para el análisis excluyen aquellas variables altamente correlacionadas entre sí para evitar problemas de colinealidad.

El periodo de análisis va de enero de 2016 a diciembre de 2019. Las variables utilizadas en los modelos econométricos fueron las siguientes:

- **hechos_desest:** Conteo desestacionalizado de siniestros viales por mes (INEGI).
- **muertes_desest:** Conteo de muertes ocurridas en siniestros viales por mes (INEGI).
- **lesiones_desest:** Conteo de personas lesionadas ocurridas en siniestros viales por mes (INEGI).
- **vel_desest:** Velocidad promedio en vialidades en zonas urbanas.
- **ventas_desest:** Cantidad de vehículos nuevos vendidos.
- **hechos_seas:** Componente estacional de siniestros viales por mes (INEGI).
- **muertes_seas:** Componente estacional de las muertes ocurridas en siniestros viales por mes (INEGI).
- **lesiones_seas:** Componente estacional de personas lesionadas ocurridas en siniestros viales por mes (INEGI).
- **vel_seas:** Componente estacional de velocidad promedio en vialidades en zonas urbanas.
- **ventas_seas:** Componente estacional de la cantidad de vehículos nuevos vendidos.
- **cinturon_no:** Proporción de hechos, muertes o personas lesionadas donde se registró que no se hizo uso del cinturón de seguridad.

-
- **rev_ABS:** Proporción de vehículos vendidos con sistema de frenos antibloqueo (ABS).
 - **rev_AB_front:** Proporción de vehículos vendidos con bolsas de aire frontales (AB Frontales).
 - **rev_AB_Lat_cuerpo:** Proporción de vehículos vendidos con bolsas de aire laterales para el cuerpo (AB Laterales cuerpo).
 - **rev_AB_Lat_cabeza:** Proporción de vehículos vendidos con bolsas de aire laterales para la cabeza (AB Laterales cabeza).
 - **rev_AB_rodillas:** Proporción de vehículos vendidos con bolsas de aire para rodillas (AB Rodillas).
 - **rev_AB_post:** Proporción de vehículos vendidos con bolsas de aire posteriores (AB posteriores).
 - **rev_ESC:** Proporción de vehículos vendidos con control electrónico de estabilidad (ESC).
 - **rev_AEB:** Proporción de vehículos vendidos con frenado autónomo de emergencia (AEB).
 - **rev_SRI:** Proporción de vehículos vendidos con sistemas de retención infantil (SRI: Isofix/LATCH).
 - **rev_Cinturon:** Proporción de vehículos vendidos con cinturón de 3 puntos en cada plaza.
 - **rev_Apoya:** Proporción de vehículos vendidos con apoya cabeza en cada plaza.
 - **CERO_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cero estrellas en sus pruebas de choque.
 - **UNA_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con una estrella en sus pruebas de choque.
 - **DOS_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con dos estrellas en sus pruebas de choque.
 - **TRES_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con tres estrellas en sus pruebas de choque.
 - **CUATRO_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cuatro estrellas en sus pruebas de choque.
 - **CINCO_estrellas** es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cinco estrellas en sus pruebas de choque.

4. MODELOS ECONÓMICOS

A partir de la información disponible es posible estimar, mediante regresiones lineales ordinarias la relación entre la presencia de dispositivos de seguridad y la cantidad de siniestros viales, muertes y personas lesionadas ocurridas en ellos.

En primer lugar se muestra el análisis para pasajeros y conductores fallecidos o heridos y posteriormente se replica el análisis únicamente para peatones fallecidos o heridos. En cada caso la selección de variables responde a la naturaleza y objetivo final de los dispositivos, es decir, sistemas activos enfocados en la prevención de siniestros y sistemas pasivos enfocados a la mitigación.

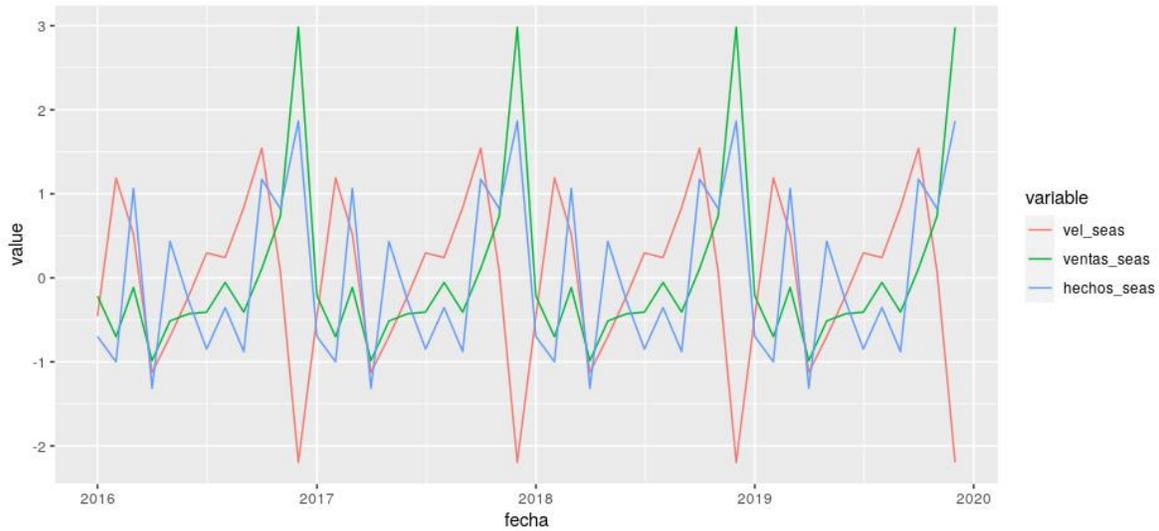
En todos los casos existe un comportamiento estacional importante, es decir, los conteos de hechos, muertes y lesiones responden a factores que se manifiestan bajo un patrón regular que corresponde a los meses del año. Por ejemplo, todos los meses de diciembre los siniestros viales alcanzan su punto más alto, esto puede deberse al aumento de los viajes, propio de la época. Debido a esto, los modelos utilizan información desestacionalizada para captar únicamente los efectos de interés.

Se llevaron a cabo análisis separados para siniestros viales, muertes ocurridas en siniestros viales y personas lesionadas por siniestros viales, además, para el caso de muertes y lesiones, se hace un análisis por tipo de víctima diferenciando entre pasajeros, conductores y peatones. Mientras que pasajeros y conductores se analizan juntos, las muertes y lesiones de peatones se analizan por separado. En todos los casos, de manera complementaria, se verificó el cambio de la relación dispositivo-siniestro derivado de la presencia de alcohol en los conductores.

4.1. Análisis siniestros viales

Un primer componente del análisis consiste en revisar la manera en que se relacionan la cantidad de autos vendidos, las velocidades promedio y los siniestros viales. Para esto se analizan los componentes estacionales de estas variables.

Gráfica 7. Componente estacional de velocidades, ventas y siniestros viales de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos de INEGI y Sin Tráfico.

En la gráfica 7 se observa que en los meses de octubre, marzo y abril, hay de manera simultánea velocidades más altas y mayor registro de siniestros viales. Sin embargo, en meses donde hay un flujo alto de automóviles, como son noviembre y diciembre, las velocidades son menores y se observa una mayor cantidad de siniestros. Esto último puede deberse al aumento del flujo de vehículos o al aumento de factores de riesgo como el consumo de alcohol.

Posteriormente, se toman los datos sin componente estacional y se comparan contra las ventas de autos con diferentes dispositivos de seguridad vehicular. En el caso de siniestros viales se incluyen únicamente tres dispositivos: ABS, ESC y AEB. Estos tres sistemas son los únicos que tienen el potencial de influir sobre la ocurrencia o no de siniestros viales. El resto de los dispositivos pueden evitar muertes o lesiones, pero no evitar la ocurrencia del hecho vial. Lo mismo ocurre para las evaluaciones de pruebas de choque.

Para caracterizar la relación entre siniestros viales y presencia de dispositivos de seguridad, se define el siguiente modelo lineal:

$$hechos_{desest} = \beta_0 + \beta_1 rev_ABS + \beta_2 rev_AEB + \beta_3 rev_ESC + \pi X + \varepsilon$$

Donde:

$hechos_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.

rev_{ABS} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ABS.

rev_{ESC} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ESC.

rev_{AEB} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con AEB.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

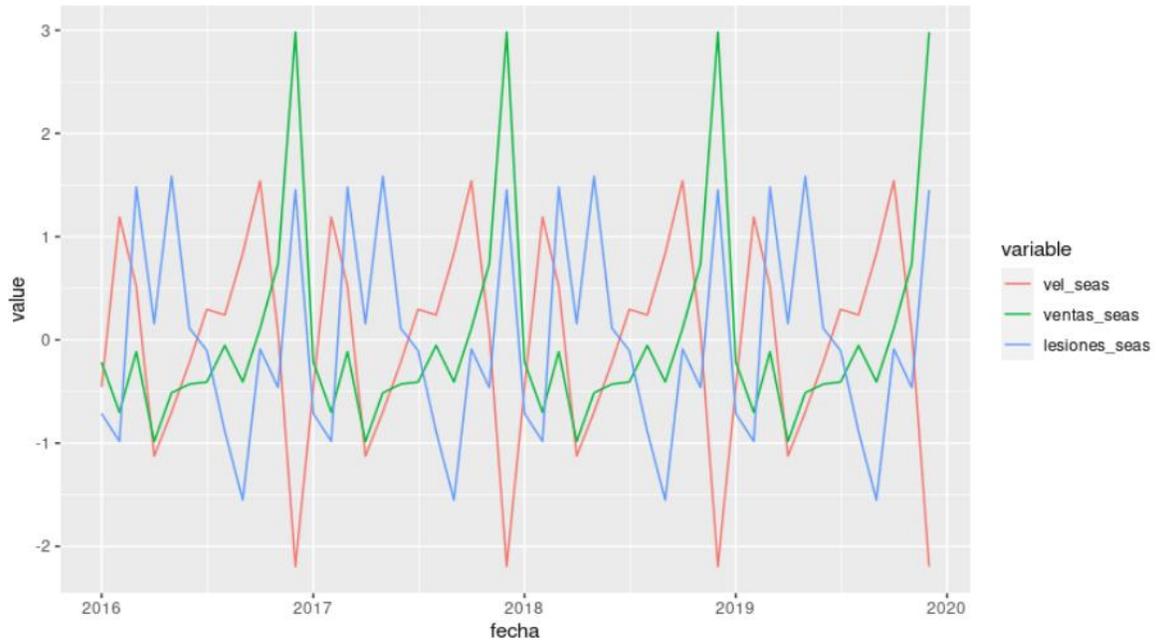
- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad de automóviles vendidos en el mes.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

4.2. Análisis de lesiones de conductores y pasajeros en siniestros viales

En la gráfica 8, donde se grafican los componentes estacionales de las lesiones en siniestros viales, se observa de nuevo que, con el aumento de automóviles en las calles y la disminución de velocidades asociada a congestión vehicular, hay un aumento estacional de las lesiones en siniestros viales. Por otro lado, cuando las velocidades se encuentran alrededor del promedio, la relación entre las velocidades y las lesiones parece no estar clara.

Gráfica 8. Componente estacional de velocidades, ventas y lesiones en siniestros viales de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos de INEGI y Sin Tráfico.

Para el análisis de lesiones se incluyen, además de los dispositivos de corte más preventivo, dispositivos enfocados directamente a mitigar las consecuencias de la ocurrencia de un hecho vial. Estos dispositivos son bolsas de aire, cinturones de seguridad y apoyacabezas. El dispositivo SRI, enfocado a la seguridad de menores, no se incluyó en el análisis debido a la ausencia de información sobre víctimas menores de 12 años en la base de datos de accidentes viales del INEGI. Igualmente se incluye el análisis de desempeño en pruebas de choque contra lesiones.

4.2.1 Lesiones de conductores y pasajeros y dispositivos de seguridad

Para caracterizar la relación entre lesiones de conductores y pasajeros en siniestros viales y presencia de dispositivos de seguridad, se define el siguiente modelo lineal:

$$\begin{aligned}
 \text{lesiones}_{desest} = & \beta_0 + \beta_1 rev_ABS + \beta_2 rev_AEB + \beta_3 rev_ESC + \beta_4 rev_AB_Front + \\
 & + \beta_5 rev_AB_Lat_cabeza + \beta_6 rev_AB_Lat_cuerpo + \beta_7 rev_AB_Rodillas + \beta_8 rev_Cinturon \\
 & + \beta_9 rev_Apoya + \pi X + \varepsilon
 \end{aligned}$$

Donde:

- $lesiones_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.
- rev_{ABS} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ABS.
- rev_{ESC} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ESC.
- rev_{AEB} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con AEB.
- rev_{AB_Front} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire frontales.
- $rev_{AB_Lat_cabeza}$ es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire laterales para la cabeza.
- $rev_{AB_Lat_cuerpo}$ es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire laterales para el cuerpo.
- $rev_{AB_Rodillas}$ es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire para las rodillas.
- $rev_{Cinturones}$ es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con cinturones de seguridad de tres puntos en cada plaza.
- rev_{Apoya} es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con apoyacabezas en cada plaza.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad de automóviles vendidos en el mes.
- Porcentaje de siniestros viales donde se usó el cinturón de seguridad.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

4.2.2 Lesiones de conductores y pasajeros y pruebas de choque

Para caracterizar la relación entre lesiones de conductores y pasajeros en siniestros viales y los resultados de los vehículos en pruebas de choque, se define el siguiente modelo lineal:

$$lesiones_{desest} = \beta_0 + \beta_1 CER0_estrellas + \beta_2 UNA_estrella + \beta_3 DOS_estrellas + \beta_4 TRES_estrellas + \beta_5 CUATRO_estrellas + \beta_6 CINCO_estrellas + \pi X + \varepsilon$$

Donde:

- $lesiones_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de conductores y pasajeros lesionados en siniestros viales registrados por INEGI.
- $CERO_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cero estrellas en sus pruebas de choque.
- $UNA_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con una estrella en sus pruebas de choque.
- $DOS_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con dos estrellas en sus pruebas de choque.
- $TRES_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con tres estrellas en sus pruebas de choque.
- $CUATRO_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cuatro estrellas en sus pruebas de choque.
- $CINCO_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cinco estrellas en sus pruebas de choque.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

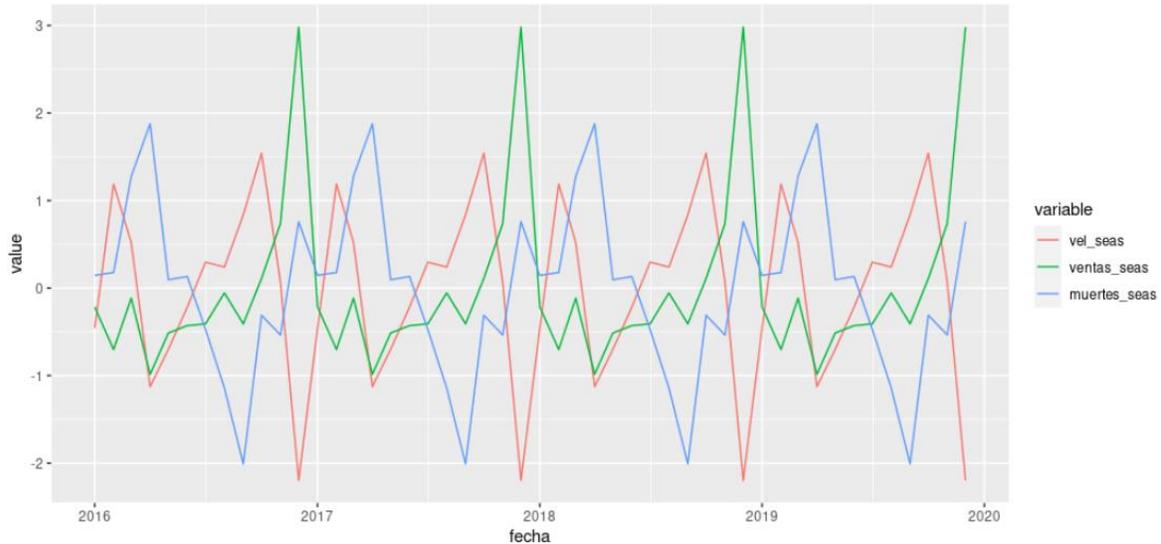
- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad de automóviles vendidos en el mes.
- Porcentaje de siniestros viales donde se usó el cinturón de seguridad.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

4.3. Análisis de muertes de conductores y pasajeros en siniestros viales

El componente estacional de muertes de conductores y pasajeros en siniestros viales, al igual que los hechos y las lesiones, se relaciona de manera inversa con la congestión vial (caracterizada por las velocidades) en meses con alta movilidad. A diferencia de lesiones y hechos, las muertes tienen su pico más alto en el mes de abril, el cual coincide también con velocidades bajas y alta congestión vehicular.

Gráfica 9. Componente estacional de velocidades, ventas y muertes en siniestros viales de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos de INEGI y Sin Tráfico.

Al igual que para el análisis de lesiones, se incluyen dispositivos de corte preventivo y de mitigación de daños a pasajeros salvo el SRI. Igualmente se incluye el análisis de desempeño en pruebas de choque.

4.3.1 Muertes y dispositivos de seguridad

Para caracterizar la relación entre lesiones en siniestros viales y presencia de dispositivos de seguridad, se define el siguiente modelo lineal:

$$\begin{aligned}
 muertes_{desest} = & \beta_0 + \beta_1 rev_ABS + \beta_2 rev_AEB + \beta_3 rev_ESC + \beta_4 rev_AB_Front + \\
 & + \beta_5 rev_AB_Lat_cabeza + \beta_6 rev_AB_Lat_cuerpo + \beta_7 rev_AB_Rodillas + \beta_8 rev_Cinturon \\
 & + \beta_9 rev_Apoya + \pi X + \varepsilon
 \end{aligned}$$

Donde:

- $muertes_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.
- rev_ABS es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ABS.
- rev_ESC es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ESC.
- rev_AEB es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con AEB.

- rev_AB_Front es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire frontales.
- $rev_AB_Lat_cabezaes$ la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire laterales para la cabeza.
- $rev_AB_Lat_cuerpoes$ la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire laterales para el cuerpo.
- $rev_AB_Rodillases$ la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con bolsas de aire para las rodillas.
- $rev_Cinturones$ la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con cinturones de seguridad de tres puntos en cada plaza.
- $rev_Apoyaes$ la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con apoyacabezas en cada plaza.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad de automóviles vendidos en el mes.
- Porcentaje de siniestros viales donde se usó el cinturón de seguridad.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

4.3.2 Muertes de conductores y pasajeros y pruebas de choque

Para caracterizar la relación entre lesiones en siniestros viales y los resultados de los vehículos en pruebas de choque, se define el siguiente modelo lineal:

$$muertes_{desest} = \beta_0 + \beta_1 CERO_estrellas + \beta_2 UNA_estrella + \beta_3 DOS_estrellas + \beta_4 TRES_estrellas + \beta_6 CUATRO_estrellas + \beta_7 CINCO_estrellas + \pi X + \varepsilon$$

Donde:

- $muertes_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.
- $CERO_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cero estrellas en sus pruebas de choque.
- $UNA_estrellas$ es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con una estrella en sus pruebas de choque.

-
- *DOS_estrellas* es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con dos estrellas en sus pruebas de choque.
 - *TRES_estrellas* es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con tres estrellas en sus pruebas de choque.
 - *CUATRO_estrellas* es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cuatro estrellas en sus pruebas de choque.
 - *CINCO_estrellas* es la proporción de autos vendidos que fueron clasificados con cinco estrellas en sus pruebas de choque.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad de automóviles vendidos en el mes.
- Porcentaje de siniestros viales donde se usó el cinturón de seguridad.

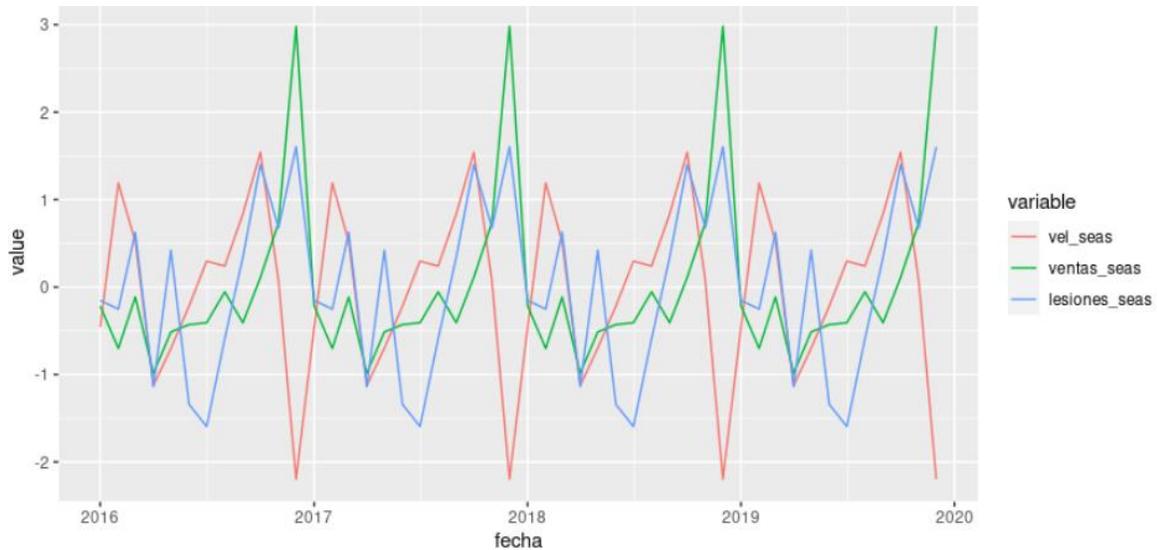
4.4 Análisis de lesiones en peatones

Para el análisis sobre lesiones de peatones, se incluyen dispositivos activos, como el ESC, el ABS y el AEB. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el sistema ATUS del Inegi, tiene un sesgo hacia el registro de lesiones graves, por lo que hace sentido incluir en el análisis el estándar de protección a peatones¹¹ que a pesar de ser un sistema pasivo enfocado en mitigación del daño, sí puede reducir la gravedad de la lesión y por lo tanto reducirá el número de lesiones registradas en el registro de accidentes de Inegi.

En la gráfica 10, se observan los componentes estacionales de las lesiones de peatones, velocidades y ventas de autos. En esta se observan comportamientos parecidas a los casos de lesiones en conductores y pasajeros. Como se mencionó anteriormente, los componentes estacionales se eliminan del modelo para poder caracterizar de mejor manera la relación entre la presencia de dispositivos y sistemas de seguridad en automóviles y la ocurrencia de lesiones de peatones en siniestros viales.

¹¹ El estándar de protección a peatones es la adecuación del diseño geométrico y uso de materiales en el exterior del auto, principalmente la parte frontal (defensa, cofre, parabrisas y pilar A), que absorben y disipan la energía de manera más eficiente en caso de colisión, pensados para reducir al mínimo posible lesiones a peatones y ciclistas en caso de atropellamiento.

Gráfica 10. Componente estacional de velocidades, ventas y lesiones en siniestros viales que involucran peatones lesionados de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Fuente: Elaborado por el IMCO con datos de INEGI y Sin Tráfico.

4.4.1 Análisis lesiones de peatones y dispositivos de seguridad

Para caracterizar la relación entre lesiones graves de peatones en siniestros viales y presencia de dispositivos de seguridad, se define el siguiente modelo lineal:

$$lesiones_{desest} = \beta_0 + \beta_1 rev_peatones + \beta_2 rev_AEB + \beta_3 rev_ESC + \beta_4 rev_ABS + \pi X + \varepsilon$$

Donde:

- $lesiones_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.
- $rev_peatones$ es la proporción de autos vendidos en un mes con estándar de protección a peatones.
- rev_ABS es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ABS.
- rev_ESC es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ESC.
- rev_AEB es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con AEB.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

- La velocidad promedio sin componente estacional.

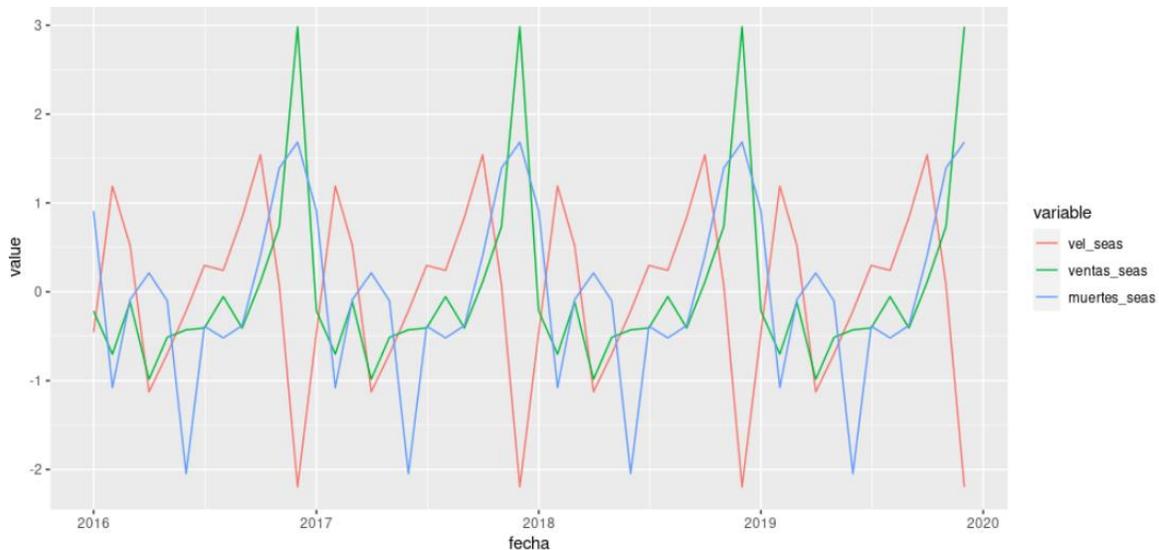
- La cantidad desestacionalizada de automóviles vendidos en el mes.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

4.5 Análisis de muertes de peatones y dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad utilizados para modelar las muertes de peatones son los mismos usados en el modelo de lesiones de peatones, estos son el ESC, el ABS, el AEB y el estándar de protección a peatones.

Gráfica 11. Componente estacional de velocidades, ventas y muertes en siniestros viales que involucran peatones lesionados de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Para caracterizar la relación entre muertes de peatones en siniestros viales y presencia de dispositivos de seguridad, se define el siguiente modelo lineal:

$$lesiones_{desest} = \beta_0 + \beta_1 rev_peatones + \beta_2 rev_AEB + \beta_3 rev_ESC + \beta_4 rev_ABS + \pi X + \varepsilon$$

Donde:

- $lesiones_{desest}$ es la cantidad desestacionalizada de siniestros viales registrados por INEGI.
- $rev_peatones$ es la proporción de autos vendidos en un mes con estándar de protección a peatones.
- rev_ABS es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ABS.
- rev_ESC es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con ESC.

- rev_AEB es la proporción de autos vendidos en un mes que están equipados con AEB.

X_t es un vector que incluye las siguientes variables de control:

- La velocidad promedio sin componente estacional.
- La cantidad desestacionalizada de automóviles vendidos en el mes.

Por su parte, ε_t representa el término de error del modelo econométrico.

6. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de los modelos planteados anteriormente, así como su interpretación. Cada subsección muestra los resultados para hechos, muertes y lesiones de pasajeros y conductores, y muertes y lesiones de peatones. Además, para el caso de pasajeros y conductores, se analiza por separado la relación de dispositivos y pruebas de choque.

Como se puede ver en la gráfica 12, todos los dispositivos estudiados han experimentado mayor penetración en el mercado, es por esto que se observa una tendencia creciente en casi todos los casos.

Si hacemos un análisis de correlaciones (gráfica 13), se observa que las tendencias de penetración del mercado de los distintos dispositivos son similares. El único caso que se diferencia es la presencia en el mercado del sistema AEB que, como podemos ver en la gráfica 12, mostraba una tendencia a la alza que cayó abruptamente a cero en 2019. Esto puede deberse a la salida del mercado de modelos que lo incluían como parte de sus dispositivos de seguridad.

Lo anterior puede llevar a problemas de colinealidad, por lo que hay que ser muy cuidadosos en la selección y prueba de variables y no utilizar variables altamente correlacionadas de manera simultánea. Es por esto que en los resultados se presentan sólo los modelos que resultaron más significativos y que no tienen problemas de colinealidad. Esto no quiere decir que los dispositivos que no se incluyan en los modelos no tienen una relación significativa 1 a 1 con la ocurrencia de hechos, muertes o lesiones, simplemente quiere decir que las variables incluidas en los modelos finales caracterizan mejor la relación.

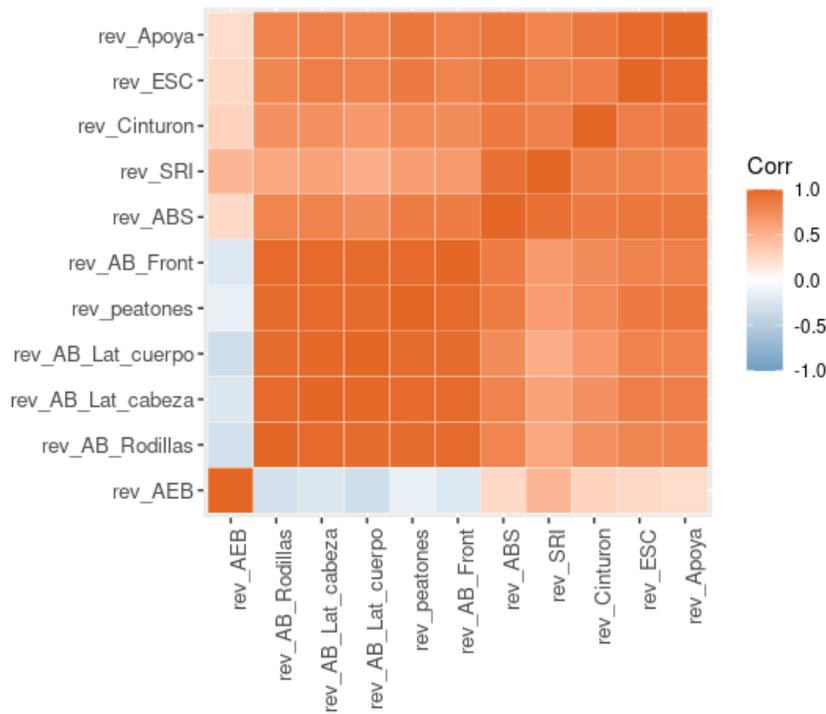
En las tablas de resultados se muestran los valores de los coeficientes, así como un indicador de la significancia o robustez de la relación (valor p). Este indicador muestra la probabilidad de que el

coeficiente estimado sea igual a cero, lo que significa que la variable no tiene relación con la venta de automóviles. La variable se considera significativa (NS) si el valor p es menor a 0.05.

Gráfica 12. penetración en el mercado de dispositivos de seguridad vehicular de enero de 2016 a diciembre de 2019.



Gráfica 13. Correlaciones entre tendencias de penetración de dispositivos.



5.1. Siniestros viales

Como se observa en la tabla 1, el sistema AEB es el único sistema para el que se encontró una relación significativa con la ocurrencia de siniestros viales. Esta relación es positiva, es decir, los siniestros viales crecen cuando la venta de autos con AEB crece y disminuyen cuando la venta de autos con AEB disminuye. Esta relación va en contra de lo esperado en primera instancia, y puede deberse a la poca cantidad de modelos y marcas que ofrecen este sistema. Además, la venta de autos con AEB sufre una caída estrepitosa en 2019, lo que puede inducir problemas en el modelo.

Tabla 1. Relación de siniestros viales con dispositivos de seguridad. Sin presencia de alcohol.

	Coefficientes
(Constante)	29210.1 ***
rev_ABS	NS
rev_AEB	43781.0 **
rev_ESC	NS
R ²	0.1647
Adj. R ²	0.1432
Num. obs.	48

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

Cuando el análisis se hace únicamente para los siniestros viales donde se registró presencia de aliento alcohólico, las relaciones se invierten y toman el sentido esperado, esto es, ante mayor presencia de automóviles con ABS y con AEB en la muestra, se registra un menor número de siniestros viales.

5.2. Lesiones en hechos de tránsito

Cómo se mencionó anteriormente, los resultados de esta sección deben de interpretarse tomando en cuenta que las lesiones reportadas en el sistema de registro del Inegi (ATUS) tienden a ser lesiones graves. Por lo tanto, se considera que sistemas activos como el ABS, AEB y ESC sí pueden tener una relación con la reducción de la gravedad de las lesiones ocurridas en siniestros viales.

Como se puede observar en la Tabla 2, solo se encontró una relación significativa de las lesiones de conductores y pasajeros con la presencia de sistemas ABS en el mercado, esto quiere decir que ante mayor presencia de ABS, el Inegi registra menos personas lesionadas en siniestros viales, esto debe de leerse como una relación con lesiones graves debido al sesgo en el registro ATUS.

Cuando se hace el análisis solo para incidentes donde hubo aliento alcohólico, la relación inversa se mantiene y la calidad del modelo aumenta (R cuadrada¹²). En este tipo de incidentes, la presencia de sistemas ABS está más relacionada con disminuciones en la cantidad de hechos.

Tabla 2. Relación de lesiones en siniestros viales con dispositivos de seguridad.

	Coefficientes
(Constante)	7084.0 ***
rev_ABS	-1421.8 ***
<hr/>	
R ²	0.3204
Adj. R ²	0.3056

¹² La R-cuadrada es una medida estadística que describe la cercanía de los datos de la línea de regresión o línea de ajuste que calcula un modelo lineal. También se conoce como coeficiente de determinación, o coeficiente de determinación múltiple si se trata de regresión múltiple.

La R-cuadrada es el porcentaje de la variación en la variable de respuesta (fenómeno a explicar) que es explicado por un modelo lineal. Es decir:

$$R\text{-cuadrada} = \text{Variación explicada} / \text{variación total}$$

Esto implica que la R-cuadrada se expresa con valores entre 0 y 1 o 0% y 100%, donde 0% indica que el modelo no explica ninguna porción de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media y 100% indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media. Cuanto mayor es la R-cuadrada, mejor se ajusta el modelo a los datos.

Num. obs.	48
-----------	----

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

Para el caso de lesiones en incidentes viales, fue posible analizar también la relación de estas con el desempeño en pruebas de choque de los automóviles de la muestra. En la tabla 3 se puede observar la cantidad de vehículos con calificación de una sola estrella en pruebas de choque tiene una relación positiva con la ocurrencia de lesiones graves, es decir, las lesiones graves de conductores y pasajeros crece cuando la venta de vehículos evaluados con una estrella en pruebas de choque crece y viceversa.

La relación en el caso donde se analiza únicamente la presencia de alcohol es sustituida por los vehículos evaluados con cero estrellas, sin embargo se mantiene en sentido positivo y con robustez similar (R cuadrada mayor a 0.45).

Tabla 3. Relación de lesiones en siniestros viales con evaluaciones en pruebas de choque.

	Coeficientes
(Constante)	5763.14 ***
UNA_estrellas_1B	27093.03 ***
<hr/>	
R ²	0.4709
Adj. R ²	0.4594
Num. obs.	48

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; . $p < 0.1$; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

5.3. Muertes de conductores y pasajeros en siniestros viales.

Las muertes en hechos de tránsito están significativamente relacionadas con la presencia en el mercado de cinturones de tres puntos en cada plaza. Es decir, entre más vehículos se venden con este dispositivo, se registran menos muertes de pasajeros y conductores en siniestros viales. Esta relación se hace más fuerte cuando se hace el análisis solo para siniestros donde hubo alcohol involucrado, es decir, se registra una R cuadrada más alta.

El porcentaje de reducción en las muertes que está relacionado con la presencia de este dispositivo de seguridad (R cuadrada o robustez de la relación) es más baja que en el caso de lesiones y siniestros viales, esto es importante porque quiere decir que, aunque la relación es significativa, la reducción de muertes que se relaciona con aumentos en presencia de dispositivos es menor que la reducción de lesiones que se explica por dispositivos de seguridad.

Tabla 4. Relación de muertes en siniestros viales con dispositivos de seguridad.

	Coeficientes
(Constante)	454.29 ***
rev_Cinturon	-262.88 **
<hr/>	
R ²	0.2008
Adj. R ²	0.1834
Num. obs.	48

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

Al igual que ocurre con las lesiones, el mal desempeño de los automóviles en pruebas de choque se relaciona con el aumento de muertes ocurridas en siniestros viales. Específicamente, la presencia de automóviles con evaluación de cero estrellas tiene una relación con el aumento de muertes.

Tabla 5. Relación de muertes de pasajeros y conductores en siniestros viales con evaluaciones en pruebas de choque.

Coefficientes	
(Constante)	239.873 ***
CERO_estrellas_1B	355.397 **
<hr/>	
R ²	0.1596
Adj. R ²	0.1413
Num. obs.	48

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; . $p < 0.1$; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

5.4 Lesiones y muertes de peatones en siniestros de tránsito.

5.4.1 Lesiones de peatones

En la Tabla 6, se muestra el coeficiente que caracteriza la relación entre las variables del modelo econométrico que resultaron significativas y las lesiones de peatones en siniestros viales. La única

variable significativa fue la proporción de vehículos vendidos con protección a peatones. La relación es inversa, es decir, que ante mayor penetración de vehículos con el estándar de protección a peatones, se registraron menos lesiones en peatones.

De manera complementaria se llevó a cabo el mismo análisis usando únicamente registros de lesiones donde hubo presencia de alcohol en el conductor. Se encontró que, aunque hay una relación significativa igualmente inversa, la relación es más débil.

Tabla 6. Relación de lesiones en siniestros viales con dispositivos de seguridad.

	Coficiente
(Constante)	1192.9***
rev_peatones	-185.95**
R ²	0.1557
Adj. R ²	0.1374
Num. obs.	48

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad¹³.

5.4.1 Muertes de peatones

En el caso de muertes de peatones, la única variable significativa fue la proporción de vehículos vendidos con protección a peatones. Al igual que en el caso de las lesiones, la relación es inversa, es

¹³ La colinealidad ocurre cuando dos variables tienen un comportamiento muy cercano y que sugiere que no hay independencia entre ellas, es decir, que una de las variables puede ser explicada con la otra. Cuando esto sucede en las variables explicativas de una regresión lineal, los coeficientes se vuelven poco confiables ya que sus errores estándar crecen.

decir, que ante mayor penetración de vehículos con esta protección, se registraron menos muertes de peatones.

En el análisis por separado con los siniestros donde hubo presencia de alcohol la relación se vuelve no significativa, es decir, inexistente.

Tabla 7. Relación de lesiones en siniestros viales con dispositivos de seguridad.

	Coefficiente
(Constante)	1192.9***
rev_peatones	-30.267**
R ²	0.1977
Adj. R ²	0.1803
Num. obs.	48

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS=No Significativo

Nota:

1. Los residuales del modelo resultan robustos, por lo que las pruebas de significancia son confiables.
2. Las variables sin coeficiente no se añadieron al modelo para evitar problemas de colinealidad.

6. CONCLUSIONES

Con el análisis de datos a nivel nacional se validó la existencia de relaciones significativas y robustas entre la presencia de dispositivos y sistemas de seguridad en el mercado y la reducción de muertes y lesiones ocurridas en siniestros viales. Las relaciones se validaron tanto para conductores y pasajeros víctimas de siniestros viales como para víctimas peatones. Igualmente se validó la relación entre el aumento de víctimas ocupantes de vehículos y la venta de vehículos con mal desempeño en pruebas de choque.

1. En el caso de la cantidad de siniestros viales registrados en el sistema ATUS de Inegi, sin tomar en cuenta muertes y lesiones, solo se encontró relación significativa con el sistema de seguridad AEB, sin embargo, esta relación va en contra de la hipótesis de que la presencia de dispositivos ayuda a la prevención de siniestros. La venta de vehículos con AEB no muestra un comportamiento regular en la muestra ya que, en el periodo de estudio, pasa de tener una tendencia a la alza hasta 2019 a cero en un solo mes. Esto muestra problemas de confiabilidad de la variable.
2. Cuando se analiza la ocurrencia de siniestros viales en los que está confirmada la presencia de consumo de alcohol por parte del conductor, se revela una relación inversa con el sistema ABS, es decir, ante mayor venta de vehículos con ABS se detecta una disminución en los siniestros viales cuando hay presencia de consumo de alcohol.
3. Las lesiones de pasajeros y conductores en siniestros viales se relacionan de manera inversa con la venta de vehículos con sistema ABS, es decir, ante mayor presencia de sistemas ABS, el Inegi registra menos personas lesionadas en siniestros viales. Debido al sesgo en el registro ATUS de Inegi hacia las lesiones más graves, la relación aquí presentada puede leerse como una relación entre sistemas ABS y lesiones graves. Esta relación se hace más clara cuando se hace el análisis solo para incidentes donde hubo aliento alcohólico.
4. De igual manera se validó que existe una relación directa entre la venta de vehículos evaluados con una estrella en pruebas de choque y la cantidad de lesiones graves en siniestros viales, esto quiere decir que, cuando hay un aumento en la venta de vehículos con esta característica, hay un aumento correspondiente en la cantidad de lesiones registradas por el sistema ATUS de Inegi.
5. Las muertes de pasajeros y conductores de vehículos en siniestros viales están significativamente relacionadas con la venta de vehículos que cuentan con cinturones de seguridad de tres puntos en cada plaza. Es decir, entre más vehículos se venden con cinturones se registran menos muertes.
6. Esta relación mantiene su sentido y se hace más clara cuando se analizan solo los casos donde hubo consumo de alcohol en el conductor.

-
7. La venta de automóviles con evaluación de cero estrellas tiene una relación con el aumento de muertes de pasajeros y conductores en siniestros viales.

 8. En el caso de muertes y lesiones de peatones, se encontró una relación robusta entre la presencia del estándar de protección a peatones y la ocurrencia de muertes y lesiones. La relación es inversa en todos los casos, es decir, ante un aumento en la presencia del estándar, se observa una disminución correspondiente en la cantidad de muertes y de lesiones de peatones.

Debido a la desagregación geográfica de los datos de ventas y a la ausencia de información sobre fechas de lanzamiento de automóviles por modelo, entre otras limitantes, no es posible validar que las relaciones encontradas sean relaciones de causalidad. Sin embargo es importante mencionar que los indicios son sugerentes de una relación causal que es necesario estudiar con mayor profundidad. Para esto es crucial la disponibilidad de información de ventas de vehículos al menos a nivel entidad, así como información precisa de las fechas de entrada en el mercado de los diferentes tipos de equipamiento de seguridad de vehículos.

La inclusión de información geográfica asociada a las ventas de vehículos permitirá incluir, en análisis futuros, información demográfica o de condiciones económicas y sociales locales como densidad poblacional, nivel educativo, calidad de la infraestructura vial, entre otras. Esta información influye también en la ocurrencia de incidentes viales y solo se puede analizar contando con información desagregada por entidad.

Finalmente, el registro de siniestros viales así como el de víctimas de dichos siniestros debe de ligarse al modelo y marca de los vehículos involucrados de tal manera que sea posible evaluar el funcionamiento y eficacia de los sistemas de seguridad implementados en los vehículos que están a la venta en el país.

INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD, A.C.