

Oportunidades, retos y brechas de la revolución tecnológica para la tarificación vial

José Eduardo Díaz Azcúnaga
Agustina Calatayud
Francisca Giraldez Zúñiga

División de Transporte

DOCUMENTO PARA
DISCUSIÓN N°
IDB-DP-00919

Oportunidades, retos y brechas de la revolución tecnológica para la tarificación vial

José Eduardo Díaz Azcúnaga
Agustina Calatayud
Francisca Giraldez Zúñiga

Marzo, 2022

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Oportunidades, retos y brechas de la revolución tecnológica para la tarificación vial

José Eduardo Díaz Azcúnaga

Agustina Calatayud

Francisca Giraldez Zúñiga

Índice

| | |
|--|----|
| Índice | 1 |
| Resumen Ejecutivo | 2 |
| Introducción | 6 |
| 1. La congestión en ALC | 8 |
| 2. Tarificación Vial como política contra la congestión | 10 |
| 3. Barreras a la Implementación de la Tarificación Vial | 15 |
| 4. La Tecnología y la Tarificación Vial | 17 |
| 4.1 Riesgos y Desafíos del Uso de Tecnología y Tarificación Vial | 21 |
| 4.2 Tecnologías Habilitadoras | 23 |
| Tecnologías del Hoy | 24 |
| Tecnologías del Mañana | 26 |
| 5. Consideraciones para ALC | 33 |
| Conclusiones | 39 |
| Referencias | 41 |

Resumen Ejecutivo

La congestión es un fenómeno que afecta la calidad de vida de los ciudadanos en la gran mayoría de ciudades medianas y grandes en el mundo. Causada por una demanda de espacio vehicular mayor a la oferta que permite la infraestructura vial, o bien por imprevistos que reducen el flujo de vehículos (ej. accidentes de tránsito), esta resulta en pérdidas económicas, ambientales y sociales importantes a la sociedad. Estudios recientes estiman costos en torno al 1% del PIB en ciudades como Buenos Aires, Bogotá, Río de Janeiro y Santiago de Chile (Calatayud et al., 2021). Para tener una proporción de lo que implican estas pérdidas, a modo de ejemplo, a Buenos Aires y Ciudad de México la congestión les cuesta, respectivamente, 1,9 y 2,3 veces lo que los gobiernos locales invierten en educación. El costo directo de la congestión en San Pablo equivale a lo que la ciudad gasta en salud. Dada su conexión con el aumento de población en áreas urbanas, la expansión territorial de ciudades, así como con la baja calidad del transporte urbano (Crotte et al., 2018), de no intervenir, la congestión se avecina como un problema a futuro en varias ciudades (Calatayud y Muñoz, 2020).

En las ciudades de América Latina y el Caribe, se ha recurrido a estrategias poco efectivas para reducir su grave problema de congestión. De acuerdo con el índice de Tráfico 2019 de INRIX, Bogotá, Ciudad de México, São Paulo y Rio de Janeiro se encontraban entre las 10 ciudades más congestionadas del mundo (Pishue, 2021). Las políticas públicas para mitigar la congestión en la región se han enfocado en su mayoría en seguirle el paso a la demanda de espacio vehicular con mayor capacidad vial, o en restringir la circulación vehicular (Crotte et al., 2018; Nie, 2017). Estas estrategias han provocado mayor congestión a largo plazo, y afectado en mayor medida a los estratos de menores ingresos, quienes normalmente habitan más lejos de los núcleos económicos.

Las políticas de tarificación vial (TVi) se han probado como una forma eficiente de controlar la congestión, recopilar más y mejor información sobre esta y, al mismo tiempo, recaudar recursos para la mejora de los sistemas de transporte y reducir las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero del sector transporte. Las políticas de TVi son más eficientes para internalizar costos y reducir externalidades negativas que otros impuestos, ya que las tarifas cobradas dependen de qué tanto uso se le dé a la infraestructura vial (Adler et al., 2019). También, un sistema de TVi aplicado de manera costo-eficiente puede llegar a ser una fuente de recaudación de recursos para futura inversión en el sistema de transporte. Por ejemplo, el sistema de cobro por congestión de Londres ha logrado reducciones de entre 13% y 30% en el tránsito, y de entre 15% y 20% en los gases de efecto invernadero, además de recolectar US\$221 millones de ganancias anuales (Lehe, 2019; Pike, 2010). A su vez, a través de una política de TVi se pueden recabar y analizar datos sobre la congestión en el área intervenida

para una mejor toma de decisiones. Por ejemplo, la medición del volumen de flujo vehicular provee un parámetro para medir la efectividad de la política, así como para decisiones operativas, como el precio de la tarifa a cobrar. Este estudio contribuye en la Visión 2025 del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de una recuperación económica digital y sostenible, al proveer información que facilita la adopción de tecnologías digitales en el diseño de políticas públicas que conlleven a una movilidad más sostenible en las ciudades de la región.

El uso de tecnología es vital para implementar una política de TVi, debido a la complejidad del sistema requerido; sin embargo, las decisiones de diseño del sistema tecnológico y sus implicaciones son muy particulares para cada ciudad. Las políticas de TVi son complejas de implementar en la práctica, en gran parte por sus requerimientos tecnológicos (Atkinson, 2019). Cada decisión de diseño del sistema tiene ventajas, desventajas e implicaciones en cuanto a privacidad, costos, desigualdad, capacidad institucional, y sostenibilidad a futuro. En última instancia, las capacidades y características de las tecnologías disponibles, así como el contexto urbano particular, serán los factores determinantes en el diseño funcional del sistema y el tipo de política de TVi ideal.

Las nuevas tecnologías emergentes de la Cuarta Revolución Industrial, en particular las ACES, cambiarán el funcionamiento del sector transporte y logístico como lo conocemos. La Cuarta Revolución Industrial (4IR, por sus siglas en inglés), donde se verá una integración entre las tecnologías físicas y digitales, trae consigo cuatro tendencias tecnológicas especialmente relevantes en cuanto a movilidad y transporte se refiere, por su potencial de disrupción de este. Estas cuatro tendencias conocidas como ACES (por sus siglas en inglés) incluyen: vehículos autónomos, la conectividad y datos, la electrificación de los vehículos, y la movilidad compartida. A partir de una adopción guiada por políticas públicas adecuadas, sería posible experimentar calles con mejor calidad del aire gracias a vehículos de bajas emisiones; menores incidentes de tránsito gracias a los vehículos autónomos (AVs); información en tiempo real del estado de la red vial gracias a vehículos conectados con su entorno; y una amplia variedad de opciones de movilidad como servicio (Calatayud y Muñoz, 2020). Junto a estas nuevas tecnologías, la implementación de políticas de TVi favorecerían a la reducción del congestionamiento vehicular y de emisiones contaminantes en la ciudad.

En este contexto, el presente reporte tiene como objetivo presentar a tomadores de decisión la situación de tecnologías actuales y emergentes que habilitan la implementación de sistemas de TVi, mostrando implicaciones y características de ellas, así como principios para tomar una decisión respecto a la tecnología a emplear en el contexto de ciudades de América Latina y el Caribe. Para lograr esto se introducen los fundamentos de políticas de TVi y sus desafíos de implementación. Se describe el rol de la tecnología en la implementación de sistemas de TVi, los impactos que tendrán las nuevas tendencias tecnológicas en la movilidad,

y lo que posibilitan en términos de sofisticación de la política en sí. Adicionalmente, se presenta una descripción de las tecnologías maduras y emergentes que se pueden emplear para implementar la política. Por último, se enlistan requerimientos específicos para la región y principios a considerar por tomadores de decisión al momento de escoger el mejor tipo de sistema tecnológico.

La 4IR y las ACES jugarán un papel importante tanto en superar las barreras actuales de implementación de políticas de TVi, como en la evolución de la congestión a futuro. Las ACES posibilitarán sistemas de TVi más sofisticados, de mayor cobertura, de mayor transparencia, y con mayor información en tiempo real sobre la red vial, asimilándose a lo propuesto como *1st best solutions*. Esto permitirá la implementación de sistemas más equitativos, mayor aceptabilidad y, últimamente, una toma de decisiones más informada. Sin embargo, las ACES pueden incrementar el uso de vehículos particulares y disminuir la recaudación de impuestos por gasolina, resultando en mayor congestión a mediano y largo plazo y poniendo presión sobre las finanzas públicas de los gobiernos locales. Asimismo, pueden generar problemas de privacidad y seguridad a los ciudadanos. Dado lo anterior, tener una visión a futuro de las potenciales disrupciones que tales tecnologías pueden generar es de suma importancia para la toma de decisiones respecto a políticas de TVi y las soluciones de tecnología utilizadas para implementarla.

De acuerdo con la revisión de literatura realizada, se considera necesario tomar en cuenta los riesgos y brechas adyacentes a las tecnologías usadas al momento de diseño e implementación de una política de TVi como lo son la privacidad, ciberseguridad, así como los requerimientos de infraestructura para su correcto funcionamiento. El tipo de información recopilada por un sistema de TVi incluye datos personales altamente sensibles, lo que puede resultar en la oposición de la población a la política. Sin una claridad sobre la responsabilidad legal y el manejo de estos datos, los usuarios estarán bajo riesgo de sufrir violaciones a su privacidad. Es por esto que se debe definir y comunicar la institución que legalmente tendrá la propiedad de los datos y la autorización para su administración, mantenimiento, explotación y uso, así como el tiempo de almacenamiento y las reglas de acceso de los usuarios a su información. Adicionalmente, siendo sistemas conectados, estos están expuestos a ataques de ciberseguridad que pueden comprometer tanto la información de los usuarios, como la integridad y funcionamiento del sistema. Por último, el sector público debe compensar las brechas de infraestructura de telecomunicaciones existentes en América Latina y el Caribe (ALC), creando incentivos de inversión y dando un seguimiento al escalamiento de las tecnologías que habilitan una política de TVi. Las anteriores deben de ser evaluadas antes de tomar cualquier tipo de decisión respecto al sistema de TVi a implementar.

Cada tecnología difiere en los tipos de sistema de TVi a los que se puede aplicar, sus requerimientos de infraestructura, limitaciones, datos generados y costos, que se traducen en ventajas y desventajas de uso y que requieren analizarse antes de su implementación. Cada tecnología va de la mano de otras tecnologías complementarias que ayudan en el intercambio de información, procesamiento de transacciones, cobros, e identificación de usuarios. Es por esto que se debe considerar la inversión necesaria para un sistema de telecomunicaciones adecuado, infraestructura adicional, equipamiento dentro del vehículo, así como los servidores y computadoras donde se centraliza y procesa toda la información. Además, se debe considerar la inversión requerida para la generación de bases de datos confiables sobre el parque vehicular y la tenencia de vehículos de cada hogar, lo cual es especialmente relevante para ALC, donde la disponibilidad de estos datos es parcial, se encuentra fragmentada entre diferentes agencias públicas y muchas veces está desactualizada.

Dicho lo anterior, el contexto urbano particular y la visión a futuro también serán factores determinantes para el diseño funcional de un sistema de TVi. El contexto urbano varía en gran medida de caso a caso, por lo que es importante considerar factores como la geografía de la ciudad o área a implementar, el tipo de política de TVi que se quiere implementar, y los patrones de tráfico existentes. Asimismo, es vital tomar en cuenta que la tecnología cambia a través del tiempo, por lo que considerar los avances tecnológicos que se avecinan es fundamental para determinar la visión a futuro del sistema que se quiere lograr, adaptarse a las nuevas posibilidades que estas habiliten, y a su vez mitigar potenciales efectos negativos. Por último, hay factores que se consideran buenas prácticas generales según la experiencia internacional y que se recomienda tomar en cuenta para escoger la tecnología empleada en el sistema de TVi a implementar, como la gobernanza del sistema, la sencillez de interacción con este, la comunicación con la ciudadanía, y la accesibilidad a este.

Introducción

La congestión es un fenómeno que afecta la calidad de vida de los ciudadanos en la gran mayoría de ciudades medianas y grandes en el mundo. Causada por una demanda de espacio vehicular mayor a la oferta que permite la infraestructura vial, o bien por imprevistos que reducen el flujo de vehículos (ej. Accidentes de tránsito) esta resulta en pérdidas económicas, ambientales y sociales importantes a la sociedad. En Estados Unidos se estiman pérdidas de US\$100 billones anuales asociadas a combustible y tiempo (Clements et al., 2021). En ALC - considerando 10 ciudades principales- se estiman más de 3.000 millones de horas perdidas por congestión en 2019, equivalente a pérdidas de más de US\$8 billones (Calatayud et al., 2021). Dada su conexión con el aumento de población en áreas urbanas, la expansión territorial de ciudades, así como con la baja coordinación entre la planificación del uso del suelo y el transporte, de no intervenir, la congestión se avecina como un problema a futuro en varias ciudades de la región (Calatayud y Muñoz, 2020).

Las políticas de Tvi se han probado como una forma eficiente de controlar la congestión, recopilar más y mejor información sobre esta y, al mismo tiempo, recaudar recursos para mejorar el transporte urbano. Las políticas de Tvi son más eficientes para internalizar costos y reducir externalidades negativas que otros impuestos, ya que las tarifas cobradas dependen de qué tanto uso se le dé a la infraestructura vial (Adler et al., 2019). También, una política de Tvi aplicada de manera costo-eficiente puede llegar a ser una fuente de recaudación de recursos para futuras inversiones en el sistema de transporte. Por ejemplo, el sistema de cobro por congestión de Londres ha logrado reducciones de entre 13% y 30% en el tránsito, y de entre 15% y 20% en los gases de efecto invernadero, además de recolectar US\$221 millones de ganancias anuales (Lehe, 2019; Pike, 2010). A su vez, a través de una política de TVi se pueden recabar y analizar datos sobre la congestión en el área intervenida para una mejor toma de decisiones. Por ejemplo, la medición del volumen de flujo vehicular provee un parámetro para medir la efectividad de la política, así como para decisiones operativas, como el precio de la tarifa a cobrar.

El uso de tecnología es vital para implementar una política de TVi dada su complejidad, sin embargo, las decisiones de diseño del sistema tecnológico y sus implicaciones son muy particulares para cada ciudad. La TVi es una política compleja de implementar, en gran parte por sus requerimientos tecnológicos (Atkinson, 2019). Cada decisión de diseño del sistema tiene ventajas, desventajas e implicaciones en cuanto a privacidad, costos, desigualdad, capacidad institucional, y sostenibilidad a futuro. En última instancia, las capacidades y limitaciones de las tecnologías disponibles, así como el contexto urbano particular serán los factores determinantes en el diseño funcional del sistema y el tipo de TVi ideal.

El presente estudio tiene como objetivo presentar a tomadores de decisión la situación de tecnologías actuales y emergentes que habilitan la implementación de sistemas de TVi, presentando implicaciones y características de ellas, así como principios para tomar una decisión respecto a la tecnología a emplear en el contexto de ciudades de ALC. Para lograr esto, se introducen los fundamentos de políticas de TVi y sus desafíos de implementación. Se describe el rol de la tecnología en la implementación de sistemas de TVi, los impactos que tendrán las nuevas tendencias tecnológicas en la movilidad, y lo que posibilitan en términos de sofisticación de la política en sí. Adicionalmente, se presenta una descripción de las tecnologías maduras y emergentes que se pueden emplear para implementar la política. Por último, se enlistan los factores a considerar al momento de escoger el mejor tipo de sistema tecnológico. Las estrategias de políticas de TVi incluidas en este estudio corresponden a la tarificación de vehículos privados y de servicios logísticos en zonas urbanas.

1. La congestión en ALC

La pandemia del COVID-19 disrumpió los patrones de movilidad en áreas urbanas de ALC resultando en cambios en el modo de transporte utilizado, la frecuencia de viajes, así como los horarios en los que estos se realizan. En diferentes ciudades de la región se registró un aumento en el uso de transporte activo como la bicicleta, y una disminución en el de uso transporte público, este último sin proyecciones de un regreso a niveles pre-pandemia (Moovit, 2021). Se observó también un aumento en el uso del vehículo particular, en parte por la percepción de mayor riesgo de contagio en el transporte público (Pishue, 2021). Asimismo, la pandemia aceleró la tendencia a recurrir al e-commerce para hacer compras, provocando una digitalización de los negocios y una mayor demanda de servicios de logística (Poole, 2021). Por otro lado, la reducción de viajes relacionados al empleo y escuelas en horas pico, la priorización de viajes esenciales, y la posibilidad de realizar actividades diarias de manera remota resultó en menos congestión y la redistribución del flujo vehicular.

Con la “nueva normalidad”, en muchas ciudades del mundo la congestión ya está alcanzando niveles pre-pandemia o, inclusive, superándolos. A pesar de haberse observado una disminución del tráfico alrededor del mundo durante el primer semestre del 2020, los niveles de congestión comenzaron a acercarse a niveles pre-pandemia hacia finales del 2020 (TomTom Traffic Index, 2020). Adicionalmente, siendo que el incremento en la demanda vehicular también depende de factores como la expansión urbana, el crecimiento de la población, el aumento de la motorización, así como una insuficiente inversión y planificación de la movilidad (Crotte et al., 2018; Calatayud et al., 2021), se espera que la congestión continúe en aumento. Si se sigue en la tendencia actual, se estima que las ciudades de ALC aumentarán su tasa de motorización hasta en 40% y su población en 9% para 2030 (Calatayud y Muñoz, 2020).

La congestión implica un alto costo para la población de ciudades latinoamericanas

Previo a la pandemia, las ciudades en América Latina se encontraban dentro de las más congestionadas a nivel mundial. De acuerdo con el índice de Tráfico 2019 de INRIX, Bogotá, Ciudad de México, São Paulo y Rio de Janeiro se encontraban entre las 10 ciudades más congestionadas del mundo, con Bogotá permaneciendo en el top 10 aun durante la pandemia (Pishue, 2021). Esto se ve reflejado en el tiempo de viaje promedio en la región: a pesar de que las distancias de traslado en ALC son en promedio más cortas que en economías más avanzadas, se tarda más tiempo en recorrerlas (Cavallo et al., 2020).

Los costos de las externalidades de la congestión en ALC tienen un impacto importante en el ámbito social, ambiental y económico. La congestión está relacionada con mayores

emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero y contaminación auditiva; efectos adversos en la salud y pérdida de comunidad en la población; así como el costo de incidentes viales y del tiempo perdido de personas y mercancías (Crotte et al., 2018). En el reciente análisis realizado por el BID para 10 ciudades en ALC, se estimaron pérdidas por congestión entre el 0,5% y 1,1% de su respectivo PIB (Calatayud et al., 2021). Los usuarios de vehículos privados no internalizan los costos que producen a la sociedad y a otros usuarios de la infraestructura vial por cada nuevo usuario que ocupa esta, generándose una falla de mercado que requiere de acciones de política pública para su corrección. Se estima que, ante un escenario optimista, de aumentar el número de vehículos en las calles un mero 10%, las pérdidas adicionales podrían rebasar el 0,5% del PIB en ciudades como Bogotá y Santiago (Calatayud et al., 2020).

En el contexto de ALC, las estrategias para reducir la congestión usualmente recurren a incrementar la infraestructura vial o restringir la circulación de vehículos. Las ciudades en ALC recurren sistemáticamente a seguirle el paso a la demanda de espacio vehicular con mayor capacidad vial, lo cual induce mayor demanda y, por ende, congestión a mediano y largo plazo (Crotte et al., 2018). Considerando que es la segunda región en el mundo con el mayor crecimiento urbano (Ortego et al., 2021) y, en consecuencia, con gran necesidad de incrementar servicios e infraestructura como movilidad y transporte, la tarea es aún más insostenible. La otra alternativa común, la cual según Nie (2017) tiene su origen en ALC, son las políticas de restricción a la circulación que se han implementado en ciudades como Bogotá (“Pico y Placa”), Sao Paulo, Santiago y la Ciudad de México (“Hoy No Circula”). Estas consisten en reducir los días u horarios en los que la circulación es permitida a vehículos privados, de acuerdo con su número de placa. La aplicación de estas políticas no siempre ha tenido los resultados esperados, derivando en un incremento de la compra de segundo automóvil y de motocicletas para incrementar las opciones de circulación (Calatayud et al., 2021). Para reducir estos impactos no deseados de la política, recientemente se han realizado modificaciones que incluyen la posibilidad de pagar por eximirse de la restricción, cuyos impactos deberán ser evaluados oportunamente.

2. Tarificación Vial como política contra la congestión

Las políticas de TVi se proponen como una estrategia para internalizar costos del uso del vehículo particular y reducir sus externalidades negativas. Con base en aplicar tarifas que incrementen los costos de viajar en automóvil y reflejen la demanda de capacidad vial, el sistema de TVi busca impulsar cambios de comportamiento en los conductores como, por ejemplo, su modo de transporte, la ruta elegida, así como el horario, número, frecuencia, y distancia de viajes realizados (Palma & Lindsey, 2009). Existen diversos tipos de Tvi, que varían de acuerdo con la escala a la que se aplica, lo que se está tarifando, y la fluctuación de tarifas. Los tipos de Tvi son: punto fijo, de zona, por vialidad o carril específico, por distancia recorrida, y por velocidad/tiempo (Crotte et al., 2018). La descripción, ventajas y desventajas de cada una de estas se puede observar en la Tabla 1 al final de la sección.

La política de TVi se considera la forma más eficiente para cambiar el comportamiento de movilidad, recopilar más y mejor información sobre la congestión, reducir las emisiones contaminantes y, al mismo tiempo, recaudar recursos para mejorar el transporte urbano. Ya que los peajes en una política de TVi dependen del uso de la infraestructura vial, estos son más eficientes para internalizar costos y reducir externalidades negativas que otros impuestos relacionados al vehículo privado, especialmente si las tarifas están diferenciadas en tiempo y espacio (Adler et al., 2019). Aplicar una política de TVi permite recopilar datos sobre la demanda en el área intervenida –e.g. total de vehículos entrando al cordón, espacios vacíos en áreas con parquímetro– y analizar o, incluso, predecir el tráfico (NYU School of Law, 2020). También, una política de TVi aplicada de manera costo-eficiente puede llegar a ser una fuente de recaudación de recursos para futura inversión en el sistema de transporte. Por ejemplo, el sistema de Londres recolectó US\$221M de ganancias durante el 2017, las que fueron utilizadas para mejorar el transporte público (Lehe, 2019). Es importante aclarar que una política de TVi no se debe considerar como una alternativa a la inversión al transporte público, aunque sí puede ayudar como una manera de recaudar fondos para proyectos de este tipo.

Idealmente, la política de TVi debe incluir tarifas diferenciadas que reflejen la hora del día y demanda en tiempo real, y flexibilidad para escoger el horario de viaje. La capacidad de la infraestructura vial es limitada e inflexible, sin embargo, la demanda de esta cambia constantemente. Según la teoría económica de cobros por congestión, es la mejor manera para que el usuario internalice los costos del uso de la infraestructura vial (o *1st best solution*), el peaje a cobrar debería reflejar los costos de viaje en tiempo real de acuerdo con las condiciones de tráfico, hora del día, tipo de viaje y de usuario, independiente del tipo de política de TVi

implementada (Palma & Lindsey, 2009). Los precios deben variar gradualmente considerando potenciales cambios en la demanda base (Palma & Lindsey, 2009, De Grange & Troncoso, 2015). Por ejemplo, en los picos de congestión inducidos, los conductores aceleran o esperan, tratando de alcanzar una tarifa más baja. Con respecto a la flexibilidad de horarios de viaje, esto es importante ya que, si la mayoría de la población requiere movilizarse a horas usuales de entrada y salida de los empleos y escuelas, no tendrán la libertad de reaccionar a la variación en la tarifa y de distribuir así la congestión. Más aún, aunque la pandemia ha permitido flexibilidad de viajes al trabajo, es importante considerar que esta flexibilidad del trabajo remoto no está disponible para todos los sectores de la población.

La efectividad de políticas de TVi ya se ha probado exitosamente. En ciudades como Londres, Singapur y Estocolmo, donde ya se han implementado este tipo de políticas, se han logrado reducciones en el tránsito en un rango de entre 13% y 30%, y de entre 15% y 20% en los gases de efecto invernadero (Pike, 2010). Se estima que aplicar estas medidas en ciudades de ALC podría reducir la congestión entre un 24% y un 28% (Bocarejo et al., 2018).

En la práctica, sin embargo, implementar en la actualidad una política de TVi que cumpla con los requerimientos para ser una *1st best solution* no resulta prácticamente posible en la actualidad. Cobrar por la magnitud exacta de la externalidad originada por un automovilista requeriría conocer en cada momento del viaje su impacto en la reducción de la capacidad de la infraestructura, de acuerdo con las condiciones de tráfico, hora del día, tipo de viaje y de usuario, así como también calcular el costo generado para otros usuarios, también de acuerdo con las condiciones mencionadas y para cada momento del viaje. Esto no es posible con las condiciones tecnológicas actuales. Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido la implementación de diferentes medidas de TVi que intentan aproximarse al costo social, como las medidas de cobro en punto fijo, por áreas o por distancia recorrida (véase Tabla 1).

La implementación de una política de TVi debe incluir cuatro funciones fundamentales: (1) comunicación con la ciudadanía; (2) detección y/o identificación de vehículos; (3) cobro de tarifas; y (4) atención a usuarios. Sea cual sea el tipo de política de TVi elegida, deberá cumplir las siguientes funciones de manera confiable, precisa y costo-efectiva para tener un sistema eficiente (Crotte et al., 2018; US Department of Transportation, 2008):

1. **Comunicación con la ciudadanía:** Debe de existir un medio a través del cual se comunicará a los usuarios del funcionamiento del sistema; los peajes a cobrar y los cambios en estos; la aplicación de multas a usuarios; así como conocer el flujo de recursos recaudados del sistema. Adicionalmente, es necesario un canal de comunicación bilateral para contactar a las autoridades respecto a aclaraciones de cobros, o asistencia con problemas de uso del sistema.

2. **Detectar e identificar vehículos:** El sistema debe poder identificar los vehículos sin interrumpir el flujo del tráfico. A su vez, se recomienda un sistema adicional al principal, que sirva de verificación para asegurar una lectura con la que se pueda identificar y monitorear a los vehículos que pagaron, para velar por el cumplimiento de la medida. Se puede hacer una referencia cruzada para identificar también al conductor para aplicar la excepción o descuento pertinente.
3. **Cobro de pagos:** El sistema de cobro del peaje debe ser automático, rápido y, en caso de quererse, debe poder cobrar tarifas diferenciadas o hacer excepción en su caso. Adicionalmente, deben de existir varios canales de pago para facilitar la conveniencia de la interacción del usuario con el sistema.
4. **Atención a la ciudadanía:** Debe existir un canal de comunicación bilateral para contactar a las autoridades respecto a aclaraciones de cobros, o asistencia con problemas de uso del sistema.

Un punto adicional es el destino de los recursos. La literatura da cuenta de que cuando los recursos recaudados por el sistema se dedican a mejorar la calidad del transporte público, la aceptación de la política por parte de la ciudadanía tiende a incrementarse (Crotte et al., 2018).

Tabla 1. Tipos de política de TVi

| | Descripción | Ventajas | Limitantes |
|--|--|--|---|
| <i>Punto Fijo</i> | <p>Cobro de tarifa según el tiempo que el vehículo ocupa un espacio puntual en la red vial (ej., parquímetros).</p> <p>ecoParq – CDMX. Parquímetro responsivo a demanda – San Francisco</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● Implementación y tecnología ampliamente probada ● Impactos en la elección modal, en las decisiones de ruta y horarios, y en la permanencia en las zonas tarifcadas ● La inversión requerida es más accesible comparada a otros tipos de TVi | <ul style="list-style-type: none"> ● Solo tiene efectos puntuales en las zonas de la red vial aplicada ● No optimiza decisiones de ruta para llegar al lugar tarifcado ● Es difícil implementar diferenciadores que desincentiven cierto tipo de viaje (i.e. viajes en hora pico) |
| <i>Vialidades o carriles específicos</i> | <p>Cobro de tarifas en carriles designados o en el total de una vialidad. Por ejemplo, vialidades de peaje o carriles de alta ocupación.</p> <p>Costanera Norte - Santiago Carriles express 91 - Los Angeles</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● Implementación y tecnología ampliamente probada ● Facilidad de delimitar puntos de acceso, por lo que requiere menos inversión de infraestructura ● Carriles de alta ocupación gratuitos la pueden hacer menos regresiva ● Cobro se puede hacer por distancia recorrida | <ul style="list-style-type: none"> ● Los impactos se limitan en su mayoría a un solo origen-destino ● Susceptibilidad de diversión y aumento del tráfico en vías aledañas no tarifcadas ● No optimiza decisiones de ruta si no existen alternativas, y es regresiva si de existir estas no son gratuitas |
| <i>De Zona</i> | <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Cordón</i>: cobro diario o por cada entrada o salida de zona establecida Impuesto a la congestión - Estocolmo ● <i>Área</i>: cobro por movilizarse dentro de zona establecida Cobro por Congestión - Londres ● <i>Multizona</i>: cobro por entrada a pequeños cordones dentro de y alrededor de un centro urbano | <ul style="list-style-type: none"> ● Implementación y tecnología probada ● Intercepta viajes de conductores provenientes de diferentes puntos de origen ● Precios pueden fluctuar de acuerdo con volumen de vehículos admitido | <ul style="list-style-type: none"> ● Requerimientos importantes de infraestructura y costos de operación ● Solo tiene efectos sobre una zona de la red vial ● No optimiza decisiones de ruta dentro de la zona de implementación |
| <i>Distancia recorrida</i> | <p>Cobro de tarifas por unidad de distancia recorrida dentro de un límite establecido (ej., municipio, distrito financiero, etc.)</p> <p>OReGo - Oregon</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● Se puede implementar con tecnología actual ● Se puede implementar en la totalidad de la red vial ● Facilidad de internalizar cobro con qué tanto se use el vehículo | <ul style="list-style-type: none"> ● No optimiza decisiones de ruta en la red vial ● Requiere equipo intravehicular para rastrear al vehículo ● Cobro fijo que no varía de acuerdo con la demanda total de |

| | | | |
|---------------------------------|--|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ● Puede ser expandido dependiendo de la tecnología empleada | <p>la red</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Regresiva para población que habita lejos del centro urbano |
| <i>TVi por velocidad/tiempo</i> | Este sistema es equivalente a un cobro por congestión, pero fluctúa y depende de qué tan baja es la velocidad media o el tiempo de desplazamiento de acuerdo con un valor objetivo o de referencia. Implica comunicar a la población oportunamente de los cambios en precios, así como tarifas en vías alternativas. | <ul style="list-style-type: none"> ● Refleja costo marginal de congestión de cada conductor adicional ● Se puede implementar en la totalidad de la red vial ● Incentiva la optimización de rutas, horarios y modo de transporte ● Puede ser expandido dependiendo de la tecnología empleada | <ul style="list-style-type: none"> ● Para optimizar decisiones de viaje requiere mayor flexibilidad de la población en horarios de viaje ● Requiere de tecnología avanzada y alta inversión |
| TVi basada en créditos | Consiste en asignar créditos periódicos de viaje a todos los viajeros, que se utilizan como pago de las tarifas a lo largo de la red vial. El crédito remanente regresa al viajero a final del periodo seleccionado (ej. mensual, bimestral). | <ul style="list-style-type: none"> ● Se puede implementar en la totalidad de la red vial ● Incentiva la optimización de rutas, horarios y modo de transporte ● Impactos menos regresivos ● Puede ser expandido dependiendo de la tecnología empleada | <ul style="list-style-type: none"> ● Mayor complejidad en su implementación y operación ● No se ha implementado un sistema de este tipo hasta el momento ● Menor recaudación de recursos al basarse en créditos |
| Mixto | Combinación de las anteriores ERP - Singapur | <ul style="list-style-type: none"> ● Se puede implementar con tecnología actual | <ul style="list-style-type: none"> ● N/A (varía dependiendo de la mezcla) |

Fuente: Elaboración propia con información de Palma & Lindsey (2009), Crotte et al. (2018), Clements et al. (2020) y Calatayud et al. (2021).

3. Barreras a la Implementación de la Tarificación Vial

Implementar una política de TVi implica grandes retos, siendo el costo político uno de los mayores. Empezar a cobrar el uso de un bien tan demandado y que históricamente no ha sido cobrado como lo es la infraestructura vial es un obstáculo grande para la política de TVi, ya que puede ser cuestionada por la opinión pública y por la propia administración pública, o incluso ser vista como algo injusto (Crotte et al., 2018). La controversia de implementar políticas de TVi se ha visto en casos como Nueva York en 2008, donde, a pesar de la aceptación de la mayoría de los ciudadanos después del éxito de una campaña de divulgación y educación sobre la política, la propuesta fue rechazada por la Asamblea legislativa del estado (Schaller, 2010). En Hong Kong, ante la reacción de los usuarios por sentir invadida su privacidad, se cambió el sistema a uno de tipo anonimizado, en el cual los usuarios poseen una cuenta numerada donde deben cargar dinero para trasladarse por la zona tarifada (Hau, 1992). En Edimburgo se hizo un referéndum en 2005 donde 74% de la población rechazó la implementación del sistema de TVi (BBC, 2005). En 2014, en Bogotá se presentó un esquema de tarificación vial de tipo cordón llamado “Cargo por Congestión”, la que fue rechazada por el Consejo de la Ciudad con el argumento de que la ciudad no estaba preparada para un cambio tan significativo y se pidió que primero se asegurara que el transporte público funcionara correctamente, antes de implementar una política de esa envergadura (Crotte et al., 2018). Más aún, la regresividad de la política, y la complejidad logística y financiera de su implementación incrementan un ya alto costo político.

Sin medidas redistributivas asociadas, una política de TVi puede generar inequidades tanto en costos como en beneficios, algo importante a considerar en el contexto de ALC. Una política de TVi, sin medidas redistributivas posteriores, es regresiva, pues tiene impactos negativos en los usuarios de bajos ingresos que son propietarios de vehículos (Jones, 1991). Esto es dado que acaban pagando una mayor proporción de su salario o, en el peor de los casos, no pueden pagar el cargo (Banister, 1994). La magnitud de la regresividad variará en diferentes contextos urbanos dependiendo de la cantidad de conductores de bajos ingresos (Mahendra, 2008), así como de la distancia que tengan que recorrer a los polos atractores de viajes. En cuanto a las ganancias de una política de TVi, los estratos socioeconómicos más altos tienden a usar vehículos particulares como modo de transporte, por lo que una política de TVi que reduzca la congestión impidiendo a los más pobres usar la infraestructura vial beneficiará en mayor medida a los más ricos (De Grange & Troncoso, 2015). En definitiva, la desigualdad juega un papel fundamental en la implementación de políticas públicas como la TVi porque contribuye a moldear las posturas de las personas y su respaldo.

Además de su regresividad y costo político, la política de TVi es compleja de implementar en la práctica. La complejidad espacial de la red vial de una ciudad, su geografía, y los flujos de tráfico a nivel metropolitano son variables que dificultan la implementación de una política de este tipo (Niskanen & Nash, 2008), dado lo particular que puede ser cada sistema. En la actualidad, la tecnología de implementación es insuficiente y costosa para implementar en gran escala (Calatayud et al., 2021). Finalmente, los costos de inversión para administrar el sistema de TVi, que incluyen hardware, infraestructura necesaria, desarrollo del sistema y su despliegue también son elevados (Atkinson, 2019).

4. La Tecnología y la Tarifificación Vial

A medida que se han expandido las capacidades y disminuido los costos de la tecnología, las políticas de TVi se han acercado a lograr su objetivo de manera más eficiente, efectiva y heterogénea. Implementar una política de TVi requiere de la identificación de vehículos, cobros de peaje, monitoreo de su cumplimiento y comunicación con la ciudadanía. Tecnologías recientes y emergentes han facilitado la realización de estas tareas de manera más fluida, precisa y eficiente, volviendo a la política de TVi más factible y costo-eficiente (Clements et al., 2020). Esto ha resultado, por ejemplo, en sistemas de TVi con identificación de vehículos sin tener que interrumpir el tránsito, facilitando cobros automáticos y electrónicos, y que reducen costos operativos del sistema y mantienen una alta confiabilidad. Adicionalmente, la reducción de costos en tecnologías más maduras y experiencia de otros países hace más factible la implementación de estas.

La disrupción al sector transporte de los nuevos avances tecnológicos en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial refuerzan la idea de implementar políticas de TVi

Nuevas tecnologías emergentes de la 4IR, en particular las ACES, cambiarán el funcionamiento del sector transporte y logístico como lo conocemos. La 4IR, donde se verá una integración entre las tecnologías físicas y digitales, trae consigo cuatro tendencias tecnológicas especialmente relevantes en cuanto a movilidad y transporte se refiere. Estas cuatro tendencias, conocidas como ACES (por sus siglas en inglés), incluyen: vehículos autónomos, la conectividad y datos, la electrificación de los vehículos, y la movilidad compartida. A partir de la adopción de estas, guiada por políticas adecuadas, sería posible experimentar calles con mejor calidad del aire gracias a vehículos de bajas emisiones; menores incidentes de tránsito gracias a los vehículos autónomos (AVs); información en tiempo real del estado de la red vial gracias a vehículos conectados con su entorno; y una amplia variedad de opciones de movilidad como servicio (Calatayud y Muñoz, 2020).

Sin embargo, las ACES pueden también incrementar la congestión y poner presión sobre las finanzas públicas. Se estima que las ACES incrementarán de manera importante los kilómetros recorridos en el mediano y largo plazo (Litman, 2015). La automatización de vehículos en combinación con la movilidad compartida, por ejemplo, reducirá el costo de los viajes en vehículos privados e incrementará la productividad de las personas al permitir realizar otras actividades durante el viaje (Calatayud y Muñoz, 2020). Esto puede incentivar viajes más largos y la migración de modos de transporte más espacio-eficientes como el transporte público hacia vehículos particulares (Simoni et al., 2018). Considerando la circulación sin pasajeros de vehículos autónomos, tanto de servicios logísticos como de viajes compartidos, la congestión

podría aumentar considerablemente – solo con relación a vehículos de pasajeros, los kilómetros recorridos pueden crecer hasta un 25% (Adler et al., 2019). Por otro lado, la electrificación masiva de la flota vehicular puede poner presión sobre la red eléctrica y disminuir la recaudación de impuestos por gasolina, que en muchos países puede representar hasta el 30% de lo recabado a través de impuestos (Clements et al., 2020).

En este contexto, una política de TVi puede desincentivar el incremento en congestión por vehículos autónomos, así como mitigar la reducción en recaudación. Adler (2017, 2019), y Smith et al. (2012) argumentan que el incremento en distancia recorrida puede ser contrarrestado con tarifas al uso de infraestructura vial diferenciadas de manera dinámica, dependiendo del nivel de congestión del área y el horario en el que se realiza el viaje, entre otros. Asimismo, una política de TVi implementada de manera efectiva puede ser una manera de compensar la recaudación perdida de otros ingresos como gasolina, o impuestos a automóviles (Calatayud y Muñoz, 2020). Inclusive, puede crear un doble beneficio si esto se reinvierte en obras de mejoras al transporte público (Parry & Small, 2009). Una política de TVi es la forma más efectiva de cobrar por el uso del vehículo, puesto que los cargos fijos, como impuestos anuales o impuestos a vehículos nuevos, pueden incentivar un uso más intensivo del automóvil.

Por otro lado, la llegada de las ACES puede mejorar y resolver problemas de los sistemas de TVi actuales

Las tecnologías emergentes de las ACES pueden derivar en sistemas más sofisticados, eficientes e inclusivos de políticas de TVi, asimilándose a lo propuesto como 1st best solutions. Con avances tecnológicos futuros aumentará la confiabilidad y eficiencia de los sistemas, los costos disminuirán y se tendrá más información en tiempo real sobre la red vial. Esto permitirá una mejor medición de externalidades, fluctuación de precios que reflejen la demanda y, en definitiva, una toma de decisiones más informada. También permitirá una política más equitativa donde se podrá hacer una diferenciación o excepción de tarifa según ingresos de usuarios, u otras necesidades. De igual manera, se podrá fomentar la transparencia y rendición de cuentas por medio del seguimiento electrónico de la recaudación proveniente de una política de TVi. Así, cuantificar la recaudación del sistema y transparentar el destino de los mismos, incluyendo su uso en subsidios para volver la política menos regresiva, puede incrementar la aceptación y volverse una ventaja política (OECD, 2021). Estas tecnologías también permitirán aplicar un sistema de TVi que cubra toda la red en vez de segmentos específicos, lo cual puede reducir el aumento de tráfico que puede darse en las calles no tarifadas adyacentes a los tramos donde sí se cobra peaje (Adler et al., 2019). Sin embargo, tarifcar toda la red podría ser regresivo y perjudicial para las poblaciones vulnerables que habitan en la periferia de la ciudad, por esto es preferente tarifcar con tipo cordón las zonas urbanas críticas.

Avances en conectividad y datos, soportados por nuevas tecnologías móviles 5G, serán determinantes en políticas de TVi futuras. La conectividad y los datos son tendencias interdependientes que se impulsan una a la otra y permiten mayor generación de datos provenientes de nuevas fuentes y en tiempo real. Las redes móviles de quinta generación (5G) y las telecomunicaciones satelitales estarán en el centro de la revolución de conectividad y datos, permitiendo recabar información de vehículos a lo largo de toda la red vial. Se espera una adopción del 5G rápida, alcanzando 2,8 billones de usuarios a través del mundo, o cerca del 30% del mercado para el 2025 (*Ericsson Mobility Report June 2020, 2020*). En ALC, Chile, Colombia, México y Brasil están siendo los primeros países en desplegar redes 5G (*Idem*). Hoy en día ya se usa el *big data* como herramienta de movilidad y optimización de ruta, especialmente en el sector privado de aplicaciones móviles y de logística (i.e. Waze, DHL/Amazon). A futuro, estas nuevas tecnologías móviles posibilitarán el Internet de las cosas (IoT) o tecnologías de comunicación especializada de corto alcance (DSRC).

La combinación de vehículos autónomos y esquemas de movilidad compartida viabilizan la optimización de ruta que se busca en un sistema de TVi, e incluso más aceptación en cuanto a privacidad. Se estima que alrededor de 2030 se verán en las calles los primeros vehículos de nivel de autonomía L5, o completamente autónomos (ver Tabla 2). Por otro lado, para 2040 la gran proporción de los vehículos autónomos observados en las calles no serán vehículos particulares de un solo dueño, sino vehículos de tamaño particular, pero de uso compartido que proveerán servicios de movilidad (*McKinsey, 2020*). La combinación de vehículos compartidos y autónomos podrían posibilitar un futuro donde, de acuerdo con la situación en tiempo real de la red vial, el vehículo pueda tomar decisiones diferentes que optimicen la congestión y uso de la infraestructura vial (*DuPuis et al., n.d.*); incluso se podría especificar la tarifa a cada vehículo en función de las emisiones de cada modelo. En este escenario, se podrá realizar el cobro por sistemas de TVi de manera automática. Inclusive, podría ser gestionada por las empresas privadas proveedoras del servicio de movilidad.

Tabla 2. Niveles de automatización

| Nivel de automatización | Descripción |
|--------------------------------|--|
| Nivel 0 | Sin automatización |
| Nivel 1 | Automatización de una función primaria (ej., control de cruce, frenado automático, asistencia de carril) |
| Nivel 2 | Automatización de manejo parcial. Dos o más funciones primarias pueden ser controladas al mismo tiempo |
| Nivel 3 | Automatización de manejo condicional. El vehículo |

| | |
|---------|---|
| | controla todas las funciones críticas dentro de condiciones o contextos específicos. El control regresa al conductor en ocasiones en las que el vehículo no pueda reaccionar a la situación |
| Nivel 4 | Automatización de manejo alta. Manejo autónomo con capacidad de operar el vehículo incluso si un humano no responde a una solicitud de intervención |
| Nivel 5 | Automatización total. Manejo autónomo en cualquier contexto o condición en el que podría manejar un humano |

Fuente: SAE (2021)

Se estima que las tendencias tecnológicas mencionadas anteriormente penetrarán en el mercado dentro de las próximas tres décadas. Cada una de las ACES tiene un horizonte de comercialización diferente, que variará de acuerdo con los avances científicos, barreras de precios, adopción de la población, e implementación de políticas públicas relacionadas (Calatayud y Muñoz, 2020). Las estimaciones sobre la cronología de cómo permearán las ACES a futuro son resumidas en la Figura 1.



Figura 1. Tendencias disruptivas en el sector transporte. Fuente: Elaboración propia con información de Otonomo (2021), AIE (2020) y McKinsey (2020).

4.1 Riesgos y Desafíos del Uso de Tecnología y Tarifificación Vial

Existen riesgos y brechas adyacentes al uso de tecnología para implementar una política de TVi, que giran alrededor de la privacidad y ciberseguridad, así como los requerimientos de infraestructura para su correcto funcionamiento. Como con cualquier tecnología, el riesgo de que se pueda tergiversar la función de esta, más allá de la intención considerada inicialmente, siempre está presente. Por ejemplo, la política de TVi recopila información personal de los usuarios para cobrar peaje, sin embargo, esta también puede usarse como mecanismo de rastreo. A su vez, las tecnologías digitales también traen consigo vulnerabilidades en cuanto a seguridad ya que, al consistir en sistemas de información conectados a una red, estos pueden ser hackeados. Finalmente, sin la existencia de los componentes necesarios que soporten el funcionamiento de una tecnología, esta no podrá lograr su objetivo de manera eficiente e, incluso, puede llegar a ser contraproducente.

El tipo de información recopilada por un sistema de TVi incluye datos personales altamente sensibles que puede resultar en la oposición de la población a la política. Por naturaleza, la política de TVi recopila información personal de usuarios, la cual no es posible anonimizar del todo (Clements et al., 2020). Este tipo de información ha sido catalogada por la Regulación General de Protección de Datos (GDPR) en Europa y el reciente Acta de Privacidad del Consumidor de California (CCPA) en California como información personal sensible con la cual se puede identificar y seguir a una persona, por lo que requiere de su protección y manejo estricto y cuidadoso (NYU School of Law, 2020). Dependiendo de la tecnología empleada variarán los datos recopilados – imágenes y localización puntual de un vehículo, hasta la localización en tiempo real – y la renuencia de la población al sistema. Un sistema de reconocimiento de placas (ALPR), por ejemplo, puede recopilar información más allá de la necesaria para el cobro de peaje, como pasajeros o alrededores del vehículo, y podría generar inquietudes en la población. Por otro lado, en sistemas que emplean un seguimiento del vehículo en todo momento como las DSRC, GPS o redes móviles, las inquietudes de la ciudadanía serán mayores.

Recuadro 1. Casos de oposición a la política de TVi por cuestiones de privacidad a través del mundo

Un caso en el que se ha generado resistencia a políticas de TVi por parte de la población es el de Hong Kong, el cual contrasta con Londres y Singapur donde este tipo de políticas lleva operando desde hace años.

Entre 1983 y 1985 Hong Kong comenzó a explorar la posibilidad de implementar una política de TVi en forma de cargos por congestión. A pesar de un piloto exitoso, la política no

se implementó, entre otros factores debido a la renuencia de la población frente a una campaña de comunicación que no abordó satisfactoriamente las dudas sobre el uso de datos y la privacidad de los usuarios (Borins, 1988).

Lo anterior provocó que los gobiernos de Singapur y Londres dedicasen especial atención a los temas de privacidad, abordando las preocupaciones de privacidad de manera temprana. Singapur incluso adoptó medidas adicionales en el diseño de su sistema para garantizar que la información privada no se guardaría en las tarjetas utilizadas y reforzar la responsabilidad de la autoridad de tránsito de salvaguardar los datos de los usuarios (Lehe, 2019).

Sin una claridad sobre la responsabilidad legal y el manejo de datos, los usuarios estarán bajo riesgo de sufrir violaciones a su privacidad. Se debe definir y comunicar la institución que legalmente tendrá propiedad de los datos y autorizaciones para su administración, mantenimiento, explotación y uso, así como tiempo de almacenamiento y reglas de acceso de los usuarios a su información. Uno de los grandes riesgos de que no existan salvaguardas respecto al uso de datos personales recabados por el sistema de TVi es que cambie la dinámica de poder entre ciudadanos y el gobierno (GOV UK, n.d.). Adicionalmente ya que los conductores no están activamente decidiendo compartir esta información, se debe formular una base legal que justifique el uso de esta. Al respecto, el Gobierno de Londres ha declarado distintos derechos para proteger los datos de los usuarios, donde destacan: el acceso a la información de los usuarios, que los usuarios puedan rectificar la información, y que el sistema no almacenará información de los usuarios más del tiempo necesario (Transport for London, n.d.).

Siendo sistemas conectados, estos están expuestos a ataques de ciberseguridad que pueden comprometer tanto la información de los usuarios, como la integridad y funcionamiento del sistema. Por la sensibilidad del tipo de datos recopilados en un sistema de tarificación es primordial usar estándares de protección de datos de los ciudadanos para evitar que su información sea hackeada. Para esto, un sistema de encriptación y desencriptación de la información de usuarios es necesario, lo cual le agrega costos a la implementación de un sistema de TVi (Sturgeon, 2017). Más allá de los datos de los usuarios, dada la conectividad de los sistemas de operación de TVi actuales y futuros, estos también son vulnerables a ataques cibernéticos que pongan en riesgo la seguridad de su funcionamiento. En línea con esto, al diseñar el sistema es importante considerar las implicaciones que podrían surgir en términos de ciberseguridad. Por ejemplo, el centralizar la operación del sistema de TVi crea un punto de vulnerabilidad que puede ser atacado y comprometer la totalidad del mismo (Clements et al., 2020).

El sector público debe compensar las brechas de infraestructura de telecomunicaciones existentes en ALC, creando incentivos de inversión y dando un seguimiento al escalamiento de las tecnologías que habilitan una política de TVi. Las tecnologías de la comunicación serán

un insumo clave y operarán como facilitadores de las innovaciones en los servicios de transporte. Sin embargo, sin una infraestructura de telecomunicaciones adecuada, los países no podrán aprovechar los efectos positivos que el cambio tecnológico puede tener en la accesibilidad, la calidad y el costo de los servicios de infraestructura (Cavallo et al., 2020). Tanto la cantidad como la calidad de la infraestructura de telecomunicaciones influyen en el ritmo de adopción de la tecnología. A pesar de que en ALC casi no existe rezago temporal en la adopción de nuevos estándares de las telecomunicaciones móviles, la velocidad de la difusión y la intensidad del uso siguen siendo un problema. La información disponible revela que, en 2018, la cobertura de redes 4G en la población ascendía a un 97% en los países de la OCDE, mientras que ALC solo alcanzaba al 62% de la población. Pero incluso para aquellos con acceso al 4G, las velocidades de descarga disponibles en ALC eran 10 veces más lentas que en los países de la OCDE. Sin embargo, la adopción a estas tecnologías no solo depende de la infraestructura, sino que también de su costo. El 40% más pobre de la población de los países de la OCDE gasta en promedio el 3% de su ingreso mensual para obtener un plan de banda ancha móvil 4G básico de 1Gb, mientras que en ALC el mismo grupo de ingreso debe gastar un 10% de su ingreso mensual por el mismo servicio (Cavallo et al., 2020).

4.2 Tecnologías Habilitadoras

A continuación, se presentan tecnologías del hoy y del mañana empleadas para la detección e identificación de vehículos, así como para su verificación y monitoreo en políticas de TVi. Se definen **tecnologías del hoy** a las herramientas ampliamente probadas y empleadas en varias ciudades para el propósito de una política de TVi. Se consideraron **tecnologías del mañana** las herramientas para las cuales el concepto y aplicación de la tecnología están formulados, mas no probados a escala, o en el contexto de implementación de una política de TVi, y también las tecnologías empleadas en sistemas de TVi solo observadas en ciudades a la vanguardia. La elección de tecnología a emplear para un sistema de TVi supondrá diferentes requerimientos, capacidades para aplicar la tarificación y condiciones de escalabilidad a futuro (Palma & Lindsey, 2009). La Tabla 3 resume las tecnologías aquí presentadas.

Cada tecnología difiere en los tipos de TVi a los que se puede aplicar, sus requerimientos de infraestructura, limitaciones, datos generados y costos, que se traducen en ventajas y desventajas de uso. En el contexto de este estudio, las tecnologías investigadas se enfocan en habilitar la función de **medición y detección**, así como **verificación** del vehículo dentro del sistema de TVi. Es importante aclarar que las anteriores van de la mano de tecnologías complementarias que ayudan en el intercambio de información, procesamiento de transacciones, cobros, e identificación de usuarios. Es por esto por lo que se deben considerar un sistema de telecomunicaciones adecuado, infraestructura adicional, equipamiento dentro del vehículo, así

como los servidores y computadoras donde se centraliza y procesa toda la información (US Department of Transportation, 2008). Aun siendo que el costo es una variable por considerar, no se incluyeron estos dada la gran variación que puede haber dependiendo de características locales.

Tecnologías del Hoy

- **Reconocimiento de número de placa automático (ANPR)**

TVi aplicable: De Zona, Vialidades o Carriles Específicos, Punto Fijo

Descripción: Este sistema, conocido como ANPR (por las siglas en inglés de *Automatic number-plate recognition*) identifica el vehículo al cual cobrar la tarifa por medio de la lectura de placas, a partir del vídeo proveniente de cámaras instaladas en las vialidades. Con el número de placa, se cruza información del propietario y se hace el cobro en el sistema, el cual puede ser automático si hay una cuenta bancaria ligada al usuario. A pesar de ser altamente confiable (95-98% en condiciones ideales¹), este sistema tiene un margen de error, por lo que, si no se reconoce la placa, o no se puede cruzar con un usuario, la transacción pasa a manos de un operador para su verificación. El sistema ANPR se usa como sistema único de detección, pero más ampliamente como respaldo de identificación y monitoreo de vehículos infractores en sistemas DSRC, GPS y de Redes Móviles. Dentro del mismo sistema ANPR se ha empleado la instalación de cámaras anteriores y posteriores a la zona por tarificar, para monitorear el cumplimiento y tratar de garantizar una buena lectura por cualquiera de las cámaras. Este sistema permite discriminar por vehículo y, si se posee la información indicada, hasta por estatus socioeconómico a través de una referencia cruzada.

Limitaciones: Las limitantes del sistema se encuentran en la dependencia de tener una buena calidad de lectura de las placas dadas las condiciones climáticas, la posible obstrucción del número de placa por otro vehículo u objeto, o la cultura de modificación de placas², y la capacidad de generación y procesamiento de las bases de datos.

Infraestructura: El funcionamiento de este sistema depende en su mayoría del equipamiento instalado en las vialidades, como la cámara de detección, pórticos o postes, y sistema de iluminación. No se requiere a los conductores tener un tipo de equipamiento específico para su adopción. Existen dos alternativas en cuanto a las cámaras de detección se refiere. La alternativa más usada es instalar cámaras especializadas para lectura de placas, que incluyen software

¹ Buen clima, sin obstrucciones a la placa

² Existen software que permiten usar video de baja resolución y con mal clima, aunque las obstrucciones físicas siguen siendo un problema. Véase Kumar et al. (2016) y Ajanthan et al. (2013).

especializado en reconocimiento óptico de caracteres (OCR); sin embargo, se puede llegar a usar infraestructura de video existente mientras que la resolución tenga buena calidad y visibilidad en diversas condiciones (i.e. de noche), para después usar OCR y obtener la lectura de placas³. Adicionalmente, requiere de una base de datos con un registro previo de matrículas e información de los propietarios para hacer el cruce de información, sistemas de telecomunicación que conecte las cámaras, información y procesamiento, y centro de operativo manual.

Disposición de tecnología: Tecnología madura, probada en contexto de TVi, bajo condiciones y escala de operación real en ciudades como Londres y Estocolmo.

Datos y Privacidad: Media/Alta vulnerabilidad a violaciones de privacidad. No implica seguimiento de localización de vehículos, aunque esto se puede determinar con la información en el sistema. Adicionalmente, las capturas de vídeo pueden proveer información sobre el conductor y pasajeros en algunos diseños de sistema.

Referencias: Bocarejo et al. (2018); Crotte et al. (2018); Genetec (2012); US Department of Transportation (2008).

- **Tag identificador por radio frecuencia (RFID)**

TVi aplicable: De Zona, Vialidades o Carriles específicos

Descripción: Esta es la tecnología más común para la aplicación de políticas de TVi. Emplea antenas receptoras que, al emitir señales de radio, activan la transmisión desde unidades intravehiculares (OBU) o tags que proveen la información necesaria como número de placa, identidad del usuario, y clase de vehículo. Esta tecnología solo permite comunicación en una dirección, por lo que no permite enviar información de regreso a los equipos intravehiculares. El sistema tiene una confiabilidad del 99%. Se usa principalmente para la **identificación** de vehículos y permite el **cobro** automático si está asociado con una cuenta bancaria o prepago. Permite discriminar por tipo de vía, categoría de vehículo, y periodo del día. En este tipo de sistema se puede mantener el anonimato de los usuarios mediante el uso de lectores de tarjetas inteligentes que solo se encargan de hacer la transacción del cobro. Este esquema se usa en Singapur, Santiago o Cd. de México.

Limitaciones: Dentro de las limitantes de este sistema se encuentran la interferencia de señales debido a la luz solar, el clima u otras las señales de radio frecuencia, problemas de lectura del tag y el espacio que ocupan los pórticos y su costo. Asimismo, la falta de canales bidireccionales de información limita funciones adicionales como, por ejemplo, la comunicación a los

³ Véase Kumar et al. (2016) y Ajanthan et al. (2013).

conductores sobre las condiciones de la red vial. Se debe considerar la vida útil del tag, que es de alrededor de 5 años y se tiene que actualizar. Como se mencionó anteriormente, el tag puede variar dependiendo del tipo de vehículo (peso, cilindraje, emisiones), por lo tanto, una de las limitaciones del sistema es que los usuarios pueden cambiar el tag a uno que le permita pagar una menor tarifa.

Infraestructura: El sistema incluye equipamiento que debe ser instalado en vialidades (pórticos, postes y antenas lectoras) y equipamiento que debe de ir dentro del vehículo (tag). Las antenas se montan en pórticos que están conectados con un servidor central, donde se procesan los datos a través de una red de comunicaciones. La red debe de tener los niveles necesarios de seguridad para el envío de información personal de los usuarios (ej., encriptación y desencriptación).

Disposición de tecnología: Tecnología madura, probada en contexto de TVi, bajo condiciones y escala de operación real en varias ciudades alrededor del mundo

Datos y Privacidad: No implica seguimiento de localización de vehículos

Referencias: Lehe (2019); US Department of Transportation (2008).

Tecnologías del Mañana

- **Odómetro**

TVi aplicable: *Por distancia recorrida, De Zona*

Descripción: Este sistema permite hacer el cobro de acuerdo con la distancia recorrida según lo que marque el odómetro del vehículo después de chequeos periódicos. Se pueden incluir otros sistemas que puedan diferenciar los viajes dentro y fuera de la zona a tarificar, como por ejemplo un equipo GPS. La implementación de esta tecnología requiere de la puesta en marcha de un programa periódico de verificación del odómetro para estimar la tarifa a pagar, en el cual se revise el equipo en establecimientos avalados.

Limitaciones: Las limitantes más importantes de emplear este tipo de sistema consisten en la posible alteración de componentes del vehículo para tener lecturas de distancia menores, posibles casos de colusión en los establecimientos de revisión, y la contabilización de los viajes fuera del área de implementación de la política de tarificación en el odómetro.

Infraestructura: No requiere infraestructura más allá del equipamiento del vehículo

Disposición de tecnología: Tecnología madura, probada en contexto de TVi de manera piloto a pequeña escala en California, Washington y Oregon, EEUU

Datos y Privacidad: No implica seguimiento de localización de vehículos

Requerimiento funcional que cumple: Medición, verificación

Referencias: Clements et al. (2020); US Department of Transportation (2008)

- **Sistemas Satelitales de Posicionamiento Global (GPS)**

TVi aplicable: Por distancia recorrida, De Zona, Créditos

Descripción: Este sistema depende de sistemas satelitales, por lo que disponen de cobertura casi total. Por medio de los satélites, se triangula la posición del vehículo y se mide su distancia recorrida, o bien se identifica si es que entró a una zona de tarificación. Se emplea un equipo intravehicular que transmite la posición del vehículo al satélite, así como la información necesaria para la fiscalización. Estos tienen una vida útil de 5 años. La disponibilidad de nuevos satélites permite una precisión de localización de alrededor de 1m de precisión. Conceptualmente, se puede complementar con teléfonos celulares para una localización más precisa a través de redes móviles, para comunicar al conductor tarifas y vías alternas, e incluso para hacer cobros electrónicos. Asimismo, combinada con otra tecnología como un smartphone, permite discriminar por tipo de vía, vehículo, periodo del día, y, si se posee la información indicada, hasta por estatus socioeconómico a través de una referencia cruzada.

Limitaciones: Una limitante es el cañón urbano⁴, donde infraestructura urbana como edificios refleja u obstruye las señales satelitales, por lo que se requiere la instalación de repetidores para amplificarlas. Adicionalmente, la posibilidad de conocer la ubicación de los vehículos en todo momento puede generar preocupaciones relacionadas a la privacidad en la población.

Infraestructura: El sistema ocupa equipamiento instalado en vialidades (antenas repetidoras y amplificadoras de señal) y equipamiento que debe de ir dentro del vehículo (OBU, teléfono celular). Requiere también de cámaras de control para infractores que no cuenten con un equipo intravehicular o con suficiente saldo para pagar la tarifa.

Disposición de tecnología: Tecnología madura, probada en contexto de TVi, operación y escala. Se usa ampliamente para transporte de carga en Europa y se han realizado pilotos con particulares en Oregon, EEUU. El último sistema de TVi de Singapur incorporará esta tecnología.

⁴ El cañón urbano se refiere calles con edificios a ambos lados que le dan una configuración de cañón.

Datos y Privacidad: Alta vulnerabilidad a violaciones de privacidad. Usa datos de localización de los usuarios.

Referencias: Clements et al. (2020); Palma & Lindsey (2009); US Department of Transportation, (2008).

- **Redes móviles**

TVi aplicable: Por distancia recorrida, Por velocidad/tiempo, Créditos

Descripción: Estos sistemas consisten en la localización geográfica de los vehículos a partir de teléfonos celulares equipados con tecnología GPS u OBUs, conectados a la unidad de diagnóstico del vehículo que, a su vez, se conectan a la red móvil. Al comunicarse con las antenas de redes móviles se calcula la posición del vehículo dependiendo de la fuerza de recepción de señal de la red y se provee información necesaria para la fiscalización. Ya que usa datos de la red móvil, además de emplearse para la medición se puede emplear para comunicar al conductor tarifas y vías alternas, e incluso para hacer cobros electrónicos. No es susceptible al efecto de cañón urbano. Una de las ventajas de esta tecnología es que existe una alta penetración de smartphones que va al alza, por lo que la población a cubrir con el equipo necesario sería menor. Esta tecnología tiene una exactitud de reconocimiento alta y permite discriminar por tipo de vía, usuario, periodo del día, y, si se posee la información indicada, hasta por estatus socioeconómico a través de una referencia cruzada. La llegada del 5G permitirá transferencias de datos de mayor volumen y con menos latencia, lo cual posibilitará el intercambio de información en tiempo real.

Limitaciones: Una limitante puede ser la saturación de la red móvil si no existe infraestructura suficiente para manejar el volumen de nuevas conexiones. El uso de datos del teléfono móvil para transmitir información puede volver la política de TVi regresiva en caso de que sean los conductores los que asumen el costo de la transferencia de información. Adicionalmente, la calidad de lectura de la posición depende de la densidad de torres celulares o de la cobertura de la red en la zona.

Infraestructura requerida: No requiere de infraestructura adicional al teléfono celular, aunque puede requerir si se satura la red o se emplea con red 5G.

Disposición de tecnología: Tecnología madura, no probada en el contexto de TVi, Se han realizado pilotos en Maryland y California, EEUU.

Datos y Privacidad: Alta vulnerabilidad a violaciones de privacidad. Usa datos de localización de los usuarios.

Referencias: Bocarejo et al. (2018); Clements et al. (2020); Palma & Lindsey (2009); US Department of Transportation (2008)

- **Comunicación especializada de corto alcance (DSRC)**

TVi aplicable: De Zona, Vialidades o Carriles específicos, Distancia Recorrida, Velocidad/tiempo, y Créditos

Descripción: Esta tecnología, a diferencia del RFID, permite comunicación bidireccional, la comunicación de varios canales y a mayor distancia. Con el DSRC se posibilita la comunicación vehículo a vehículo (V2V, por sus siglas en inglés) y vehículo a infraestructura (V2I), que permitan informar a conductores sobre congestión, precios o cualquier evento en la red vial. Este sistema requiere de antenas en las calles, así como de OBUs en los vehículos que comunican posición y velocidad, los cuales son transmitidos a un sistema de procesamiento y empleados para modelar la congestión en tiempo real. Esta información posteriormente regresa al vehículo para tomar las decisiones en cuanto a congestión. Los sistemas DSRC tienen una confiabilidad cercana al 99%. Este sistema permite discriminar por tipo de vía, vehículo, periodo del día, y, si se posee la información indicada, hasta por estatus socioeconómico a través de una referencia cruzada.

Limitaciones: Dentro de las limitantes de este sistema se encuentran la interferencia de señales debido a la luz solar, el clima u otras las señales de radio frecuencia, problemas de lectura del sensor, el espacio que ocupan los pódicos, así como el costo de expandir la infraestructura necesaria a lo largo de la ciudad.

Infraestructura: Las antenas se montan en pódicos que están conectados con un servidor central donde se procesan los datos a través de una red de comunicaciones. La red debe de tener los niveles necesarios de seguridad para el envío de información personal de los usuarios (ej. encriptación y desencriptación). Esta tecnología está empezando a ser incorporada en vehículos nuevos.

Disposición de tecnología: No madura. Esta se encuentra aún bajo investigación y desarrollo

Datos y Privacidad: Alta vulnerabilidad a violaciones de privacidad. El sistema recaba todo tipo de datos acerca del vehículo.

Referencias: Bocarejo et al. (2018); Clements et al. (2020); US Department of Transportation, (2008).

- **Internet de las cosas (IoT)**

TVi aplicable: De Zona, Vialidades o Carriles específicos, Distancia Recorrida, Velocidad/tiempo, y Créditos

Descripción: El Internet de las cosas se refiere a la conexión de vehículos y otros elementos a través de un protocolo de internet. La tecnología 5G es la base para habilitar el IoT por sus altas velocidades de intercambio de información (10GB/s) y su baja latencia, que juntos equivalen a una comunicación en tiempo real. La red 5G permite el flujo de información entre vehículos, sin tener que intermediar a través de una torre de la red. Esto habilita que vehículos ubicados más adelante en la ruta pasen hacia atrás información con la condición de la red vial como niveles de congestión, accidentes, etc. Más aún, la conexión de los vehículos a internet y a su entorno, más las capacidades de la red 5G, permiten que se intercambie y comunique información de manera más rápida y segura. Esto se puede usar para analizar en tiempo real el estado de la red vial y poder estimar niveles de congestión, precios y demanda. Se espera que las redes 5G estén ampliamente disponibles en todo el mundo entre alrededor de 5 y 10 años.

Limitaciones: El costo de instalar infraestructura a lo largo de la red vial puede ser muy alto. Los datos personales recopilados se transmiten todo el tiempo con el sistema. Adicionalmente, un nivel de conectividad de este nivel abre la puerta a vulnerabilidades de ciberseguridad.

Infraestructura: Este sistema necesita de micro infraestructura como las picoceldas distribuidas a lo largo del área urbana, para proveer la capacidad y baja latencia requerida para la aplicación de redes 5G en IoT.

Disposición de tecnología: No madura. Esta se encuentra aún bajo investigación y desarrollo para aplicaciones al sector transporte.

Datos y Privacidad: Alta vulnerabilidad a violaciones de privacidad. El sistema recaba todo tiempo de datos acerca del vehículo.

Referencias: Clements et al. (2020); US Department of Transportation (2008).

Tabla 3. Resumen de tecnologías habilitadoras

| | ANPR | RFID | Telefonía Móvil | Odómetro | GPS | DSRC | IoT |
|-----------------------------------|---|--|---|---|--|--|--|
| Tipo de TVi al que aplica | -De Zona -Punto Fijo -Carril o Vialidad Específica | -Carril o Vialidad Específica | -Distancia recorrida -Velocidad/tiempo -Créditos | -Distancia recorrida - De Zona | -Distancia recorrida -De Zona -Velocidad/tiempo -Créditos | -De Zona -Carril o vialidad -Distancia recorrida -Velocidad/tiempo -Créditos | -De Zona -Carril o vialidad -Distancia recorrida -Velocidad/tiempo -Créditos |
| Madurez | 5/5 Probado en operación | 5/5 Probado en operación | 2/5 Bajo investigación y desarrollo | 5/5 Probado en operación | 5/5 Probado en operación | 5/5 Probado en operación | 2/5 Bajo investigación y desarrollo |
| Requerimientos de Infraestructura | Alto | Medio | Bajo/ Alto (con 5G) | Bajo | Bajo | Alto | Alto |
| Accesibilidad a la población | Muy Accesible | Accesible | Accesible | Muy Accesible | Accesible | Muy poco accesible | Muy poco accesible |
| Riesgos de privacidad y seguridad | Media Alta | Baja | Alta | Baja | Alta | Alta | Alta |
| Limitantes | -Posibles obstrucciones a la lectura de las cámaras -Privacidad -Espacio urbano que ocupa infraestructura | -Interferencia de señal -Espacio urbano que ocupa la infraestructura necesaria -Requiere equipo adicional -Comunicación de una sola vía | -Posible saturación de red sin infraestructura adicional -Regresividad por uso de datos -Calidad de lectura depende de cobertura de red | -Colusión o alteración de equipo -Medición y límites geográficos | -Privacidad -Requerimientos de infraestructura | -Alto costo de infraestructura -Privacidad -Espacio urbano que ocupa infraestructura | -Alto costo de infraestructura -Privacidad -Requiere infraestructura |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----------|----------------|-----|-----|
| Integración con otras tecnologías | RFID, DSRC, Tel. Celular | ANPR, DSRC, Tel. Celular | n/a | GPS, DSRC | ANPR, Tel. Cel | n/a | n/a |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----------|----------------|-----|-----|

Criterios de evaluación

| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-----------------------|--|--|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Madurez de tecnología | Totalmente probado (contexto TVi, escala, operación) | Prueba piloto (contexto relevante, sin escala) | Prueba ambiente controlado | Bajo Investigación y Desarrollo | Concepto y aplicaciones formuladas |

| | Muy Accesible | Accesible | Muy poco accesible |
|---------------------------|--|---|-------------------------------|
| Accesibilidad a población | No requiere equipo/costos personales adicional | Requiere equipo/costos adicionales de no muy alto costo | Requiere equipo de alto costo |

| | Alta | Media | Baja |
|--------------------|---|--|-----------------------------------|
| Datos y Privacidad | Se recaban datos personales y de localización | Se recaban datos personales, y requiere procesamiento para determinar localización | Información recabada puntualmente |

5. Consideraciones para ALC

Al implementar una política de TVi, los factores determinantes en el diseño funcional del sistema son el contexto urbano particular y la visión a futuro, así como las capacidades y limitaciones de las tecnologías disponibles. El avance tecnológico puede facilitar la aplicación de una medida de TVi. Sin embargo, para la elección del tipo de tecnología a utilizar en la identificación y detección de vehículos, debe considerarse el monto necesario a invertir para la implantación y funcionamiento del sistema, quién debe afrontar tanto los costos iniciales como los costos de operación, el plazo de tiempo requerido para que entre en completo funcionamiento, cómo asegurar la protección de los datos personales y el propósito u objetivo de la política de TVi (reducir la congestión, recaudar recursos, entre otros). Además de consideraciones generales, habrá situaciones particulares para cada ciudad que será necesario evaluar para tomar la mejor decisión de tecnología, como se menciona más abajo. De cualquier forma, es importante enfatizar que la tecnología cambia a través del tiempo, por lo que tomar en cuenta tanto las tecnologías del hoy como las tecnologías del mañana es vital para determinar la visión a futuro del sistema que se quiere lograr. En especial, toda decisión debe considerar que los sistemas a implementar deben ser flexibles para evolucionar tecnológicamente, apostar por soluciones con estándares internacionales y que no vinculen la viabilidad de implementar la política a un proveedor o una única tecnología.

El contexto urbano es determinante para escoger cuál es la mejor tecnología para el sistema a implementar. Este varía caso a caso, por lo que a continuación se presentan algunos factores para identificar la mejor opción tecnológica. A su vez, existen **requisitos de carácter general** que deben considerarse en la adopción de tecnologías para viabilizar una medida de TVi, por lo que también se incluyen en esta sección.

- **Geografía de la ciudad o área a tarificar**

¿Cuáles son los límites de la zona donde se aplicará la tarificación? ¿Cuáles son los puntos de acceso?

Conociendo el área a tarificar se podrá evaluar qué tan factible de acuerdo con la geografía de esta será instalar la infraestructura tecnológica necesaria para la detección e identificación de vehículos y, con ello, también los costos de la misma. Por ejemplo, la tarificación zonal requiere de la detección de vehículos al ingresar y salir de la zona tarificada. Desde el punto de vista tecnológico, esto implica decidir si se instalarán portales en la red vial para realizar la identificación o se utilizarán sistemas de monitoreo satelitales, por ejemplo. La geografía es clave para ello. En el caso de Estocolmo, por ejemplo, se aplicó una política de TVi de cordón a un área

que consiste de islas ligadas entre sí por puentes, por lo que existen menos puntos de acceso y, en consecuencia, menos puntos donde es necesario el monitoreo. En el caso de Londres, la zona tarifada se encuentra en el centro de la ciudad y posee múltiples vías de acceso, lo que ha requerido una considerable inversión en infraestructura para la identificación de vehículos en tales vías.

Ahora bien, es importante mencionar que estas limitaciones se encuentran más presentes en las que hemos denominado *tecnologías del hoy*, como son RFID o ANPR, dado que, de avanzar las soluciones que utilizan redes móviles o GPS, por ejemplo, bastaría con identificar el momento que un vehículo ingresa o sale de la zona tarifada, independientemente de la geografía del lugar, para poder cobrar la tarifa respectiva. En este sentido, el progreso tecnológico reducirá sensiblemente la importancia de la variable geográfica como desafío para la aplicación de una política de TVi.

- **Infraestructura existente**

¿Puede utilizarse infraestructura ya instalada? ¿Es compatible la tecnología con la infraestructura y tecnologías ya empleadas?

Considerar el uso que pueda darse a la infraestructura ya existente en la zona a tarifarse puede reducir los costos iniciales de arranque del sistema. Por ejemplo, por medio de un post-procesamiento de imágenes de baja resolución proveniente de equipos de vídeo no especializados para leer números de placa, se ha logrado obtener lecturas con confiabilidad mayor al 90% (Ajanthan et al., 2013), con lo que se podría usar grabaciones de cámaras ya instaladas para propósitos de seguridad o de gestión de tráfico.

No obstante, debe considerarse si esas cámaras se encuentran instaladas en las intersecciones clave para identificar el ingreso o salida de un vehículo de la zona tarifada. Asimismo, el incremento en el procesamiento de datos requiere normalmente de inversiones en infraestructura de telecomunicaciones, así como del adecuado mantenimiento de la misma, para habilitar las tecnologías actuales y emergentes. Al respecto, cabe mencionar que, como en el caso de la geografía, el avance de los servicios de computación en la nube hace cada vez menos necesario realizar costosas inversiones en equipamiento físico. Hoy en día ya se puede alquilar espacio y capacidad de computación en la nube, a los cuales se puede acceder prácticamente desde cualquier terminal. Lo que ello sí requiere es disponer de banda ancha con cada vez mayor velocidad, lo que aun es un gran desafío inclusive en los centros urbanos de ALC. Esto último es un aspecto fundamental a considerar en la elección de la tecnología a utilizar para la implementación de una medida de TVi.

Adicionalmente, es necesario evaluar si se requiere trabajar en la interoperabilidad e integración de sistemas ya existentes, como por ejemplo los que poseen la información de registros

vehiculares. Dado que el espacio urbano en ciudades grandes suele incluir a más de un nivel de gobierno y diferentes jurisdicciones, frecuentemente se requerirá también de la coordinación interinstitucional para obtener datos que se encuentra repartidos en varias jurisdicciones. Entre otros usos, ello puede contribuir a referenciar los números de placas con sus respectivos usuarios, y utilizar las características de los mismos para identificar si están sujetos a exenciones. Por su parte, tendrá que considerarse si habrá conductores de otras municipalidades entrando a la región tarifada, y si es que existe la coordinación intermunicipal para poder tarifcar a estos. El desarrollo de estándares para recopilar y compartir información simplificará la integración.

- **Patrones de tráfico**

¿Existe un patrón recurrente de tráfico? ¿Se concentra particularmente en una zona o vía? ¿Qué tan drásticos son los picos de congestión? ¿Dónde se generan los viajes a los puntos de congestión?

La recurrencia y concentración de tráfico será determinante para escoger la tecnología ya que, de acuerdo con ello, se puede pensar en alternativas que requieran o no la medición de viajes a través de toda la red vial para la optimización de la congestión. Áreas donde la congestión no tiene picos altos en mañana y tardes pueden emplear un sistema que no necesite tecnologías para implementar tarifas variables, dado que un precio fijo puede ser suficiente para incentivar cambios de comportamiento, y es a la vez más sencillo para los usuarios. Precios variables, de acuerdo con la demanda, funcionan mejor con tecnologías que permitan estimar la misma, y cobros automáticos (Pike, 2010). Del mismo modo, si los conductores atraídos hacia los puntos de congestión provienen de distancias más lejanas, se deberá considerar si lo ideal es emplear tecnologías que puedan considerar el cobro por distancia recorrida. Nuevamente, las soluciones clasificadas en este documento como *tecnologías del mañana* pueden simplificar mucho este aspecto y atender simultáneamente a diferentes requerimientos de las medidas de TVi, según los patrones de movilidad. Por ejemplo, soluciones que utilizan redes móviles o GPS, combinadas con algoritmos de inteligencia artificial para establecer el ingreso o egreso de la zona de cobro, o la distancia recorrida, facilitarían enormemente esta tarea (véase Recuadro 2).

- **Objetivo a largo plazo y evolución de la tecnología**

¿Qué visión se tiene para el sistema a futuro? ¿Es compatible la tecnología con la visión del sistema a futuro? ¿En qué nivel de madurez se encuentra la tecnología que quiere emplearse?

Es vital tomar en cuenta las tendencias tecnológicas en curso, para implementar un sistema que pueda adaptarse a las nuevas posibilidades que estas habiliten y, a su vez, mitigar potenciales efectos negativos (Bocarejo et al., 2018). Para ello, al escoger las tecnologías para el sistema de TVi, debe definirse un plan a futuro para la política. Por ejemplo, se puede considerar como objetivo una política de TVi en toda la red vial. Tomar en cuenta lo anterior puede ayudar a definir

si la tecnología escogida permite escalar el sistema. Adicionalmente, cada tecnología tendrá características que la harán o no compatible con los avances tecnológicos venideros. Invertir en tecnologías emergentes tiene sus riesgos, aunque si se hace de manera informada de acuerdo con las tendencias que se observan y siguiendo las buenas prácticas y experiencias de ciudades donde la tecnología ya ha sido probada, apostar por estas puede resultar en menores costos de transacción y operación a futuro – ej. usar sistemas basados en smartphones que cada día tienen más penetración (Governing Institute, 2019).

- **Gobernanza del sistema**

¿Qué dependencia será la encargada de manejar el sistema? ¿Cómo se regulará el manejo de datos para asegurar la privacidad de los usuarios? ¿Qué tipo de datos generará el sistema? ¿Qué estrategias de ciberseguridad están siendo consideradas?

Definir el marco legal sobre el que se establezca el funcionamiento del sistema tecnológico es de los pasos más importantes. Una vez definido el responsable de la operación, se debe evaluar si la institución tiene la capacidad de manejo o si es más factible recurrir a una asociación público-privada para el manejo de este. En esta misma línea, algunos autores sugieren que considerar que el incluir a un tercero del sector privado en el manejo de datos, sujeto a reglas claras de salvaguarda de los mismos, puede ayudar a prevenir preocupaciones en cuanto a privacidad (Clements et al., 2020).

Aun cuando participe en la operación del sistema de TVi un tercero, la privacidad seguirá siendo un punto sensible. Para reducir las preocupaciones en este sentido, es necesario que se defina de manera transparente la propiedad de los datos generados y los correspondientes derechos y licencias para su administración, mantenimiento, explotación y uso, así como mecanismos de rendición de cuentas y acceso de los usuarios a su información. Algunas agencias de transporte, como la de Singapur, han diseñado sus sistemas para gestionar la menor cantidad de datos personales, siempre y cuando se cumpla con los pagos de las tarifas de acuerdo con el uso correspondiente (Pike, 2010).

Tanto con las *tecnologías del hoy*, pero mucho más aún con las *del mañana*, es crítico pensar en la ciberseguridad del sistema. Aplicar métodos de encriptación, protocolos de almacenamiento, así como diseñar un sistema descentralizado será importante para mitigar ataques cibernéticos (Clements et al., 2020). Si bien la región ha hecho avances en los últimos años, existen brechas relacionadas con, por ejemplo, la definición de estándares a implementar, gestión de riesgos y marcos legales, así como la realización de campañas de educación al respecto (BID, 2017). No es una buena práctica adoptar soluciones tecnológicas que recojan datos personales sin antes haber diseñado un plan de preservación de la seguridad de los mismos.

Recuadro 2. Colaboración con las empresas tecnológicas

El hecho de que ya existan diversas aplicaciones de empresas privadas que recolectan datos de localización dentro de la red vial puede ser una oportunidad para buscar aprovechar el *expertise* en la operación y la penetración de sus plataformas por medio de asociaciones público-privadas. Por ejemplo, diferentes aplicaciones proporcionan ya la mejor ruta en coche, con información en tiempo real sobre la situación de la red vial. Desde el momento en que los usuarios abren la aplicación para solicitar información sobre una ruta, las aplicaciones recogen y ofrecen en tiempo real datos sobre la velocidad a la que se circula, los puntos donde se detiene el tránsito, los tiempos estimados de trayecto, entre otros. Estas funciones ya disponibles pueden ser adaptadas a un sistema de TVi. Asociarse con instituciones privadas también puede ser útil para la implementación y administración del sistema de TVi. Estas pueden traer beneficios en cuanto a provisión de recursos financieros, *know-how*, e innovación para complementar los esfuerzos del sector público (McKinsey, 2019).

- **Comunicación con la ciudadanía respecto al sistema**

¿Qué tipo de estrategia de comunicación se empleará para difundir información del sistema?

¿A través de qué canales se llevará a cabo esta comunicación?

Tanto las *tecnologías del hoy* como las *del mañana* operan recolectando datos personales. Es más, mientras más se avance hacia la implementación de medidas de TVi de *1st best*, como las que cobran por distancia recorrida, mayor será la cantidad de datos personales que deberán ser recolectados. En consecuencia, el diseño de toda medida deberá estar acompañada por una estrategia de comunicación sobre el manejo de datos, y el funcionamiento y la secuencia de entrada en vigor del sistema de tarificación previa a su implementación, así como durante su funcionamiento. La transparencia en cuanto el uso que se le da a los datos es vital para la aceptación de la población (ver el [portal de información del sistema de Londres](#) como referencia). Para ello, se deben de considerar canales útiles para toda la población afectada, en los cuales se tendrá una comunicación bidireccional constante con la población, tanto para la educación de esta, como para preguntas y atención a usuarios sobre el sistema cuando entre en funcionamiento. Nuevamente, las tecnologías de información y comunicación son útiles en este sentido, permitiendo utilizar, entre otros, redes sociales, servicios de mensajería móvil y espacios dedicados en los sitios de internet de las agencias públicas para implementar la mencionada comunicación bidireccional.

- **Sencillez de funcionamiento e interacción con el sistema**

¿Qué tan sencilla es la adopción e interacción del usuario con el sistema propuesto?

El sistema propuesto debe de ser sencillo, al menos al inicio, y luego, de ser necesario, volverse

más complejo poco a poco, hasta llegar al sistema objetivo. Para ello, es clave utilizar una sola tecnología con la que la interacción sea fácil y eficiente, para que haya menos incertidumbre y sea más fácil para la población entender el funcionamiento, así como tener una mejor experiencia de usuario. Por esta razón, las aplicaciones móviles o los tags de RFID suelen ser los más utilizados en las experiencias hoy vigentes a nivel internacional.

- **Accesibilidad**

¿El sistema es accesible para toda la población afectada? ¿Qué se debe proveer o implementar para evitar la exclusión de grupos de menores ingresos?

Tener un panorama claro sobre los impactos de la implementación del sistema, la población afectada y su accesibilidad a este es de gran importancia para mitigar el efecto regresivo de la política. En caso de que el sistema requiera de tecnología adicional como un OBU, la financiación inicial de esta tecnología, como se hizo en [Santiago de Chile con las autopistas de peaje](#), es una estrategia factible para facilitar la accesibilidad y favorecer la adopción (Mahendra, 2008). Implementar una variedad de formas de pago que sean convenientes y flexibles es un componente muy importante para el cobro eficiente de tarifas (Pike, 2010), especialmente tomando en cuenta el bajo nivel de bancarización y de pagos digitales en la región. En efecto, el 50% de la población de América Latina y Caribe no tiene acceso a pagos electrónicos, lo cual, en el contexto de un sistema de TVi es básico para la eficiencia operativa e interacción del usuario con el sistema (Rodríguez et al., 2020). En este sentido, se pueden aprovechar los sistemas multicanal de pagos ya existentes en ALC para otro tipo de cobros públicos.

Conclusiones

Las políticas de TVi son una alternativa para mitigar la congestión, aunque existen retos importantes en su implementación. La política de TVi se considera la forma más eficiente para cambiar el comportamiento de movilidad, recopilar más y mejor información sobre la congestión y, al mismo tiempo, recaudar recursos para mejorar la movilidad urbana. Su eficiencia ya se ha demostrado en varias ciudades alrededor del mundo, a pesar de las barreras que implica su costo político, regresividad en costos y beneficios, y la complejidad logística y financiera. Estas son importantes a considerar dado el contexto en ALC de alta desigualdad y rezago tecnológico e infraestructural. Más aún, la política de TVi puede ser de gran ayuda para contrarrestar potenciales incrementos en congestión y disminución en la recaudación de recursos públicos que se avecinan con la Cuarta Revolución Industrial.

La Cuarta Revolución Industrial y las ACES, las cuales ya son una realidad que está permeando en la economía y la sociedad, deben ser consideradas en la toma de decisiones por el papel que jugarán en superar las barreras de implementación de políticas de TVi. Las ACES posibilitarán sistemas de TVi más sofisticados, de mayor cobertura, de mayor transparencia, y con mayor información en tiempo real sobre la red vial, asimilándose a lo propuesto como *1st best solutions*. Esto permitirá la implementación de sistemas más equitativos, mayor aceptabilidad y, últimamente, una toma de decisiones más informada. Así, tener una visión a futuro de las potenciales disrupciones que pueden tener en el sector transporte y la implementación de políticas públicas es de suma importancia para la toma de decisiones.

Junto con los beneficios de los avances tecnológicos para facilitar la implementación de políticas de TVi, al momento de diseño e implementación es necesario tomar en cuenta los riesgos y brechas adyacentes a tales tecnologías, como lo son la privacidad y ciberseguridad, así como los requerimientos de infraestructura para su correcto funcionamiento. El tipo de información recopilada por un sistema de TVi incluye datos personales altamente sensibles que puede resultar en la oposición de la población a la política. Sin una claridad sobre la responsabilidad legal y el manejo de estos datos, los usuarios estarán bajo riesgo de sufrir violaciones a su privacidad. Es por esto que se debe definir y comunicar la institución que legalmente tendrá propiedad de los datos y autorización para su administración, mantenimiento, explotación y uso, así como tiempo de almacenamiento y reglas de acceso de los usuarios a su información. Adicionalmente, siendo sistemas conectados, estos están expuestos a ataques de ciberseguridad que pueden comprometer tanto la información de los usuarios, como la integridad y funcionamiento del sistema. Para ello se requiere avanzar en la definición de estándares a implementar, gestión de riesgos y marcos legales, así como la realización de

campañas de educación. Por último, el sector público puede contribuir a cerrar la brecha de tecnología existente en ALC creando incentivos de inversión, y dando un seguimiento al escalamiento de las tecnologías que habilitan una política de TVi. Las anteriores deben de ser evaluadas antes de tomar cualquier tipo de decisión respecto al sistema de TVi a implementar.

La región de América Latina y el Caribe requiere de infraestructura, capacidades humanas e institucionales, y mecanismos que salvaguarden la privacidad y seguridad digital. En busca de aprovechar los cambios tecnológicos, las ciudades de ALC deben de invertir, dar mantenimiento y renovar la infraestructura de telecomunicaciones que habilitan las tecnologías actuales y emergentes. Se debe trabajar en mejorar la confiabilidad de los sistemas de información actuales, la integración y coordinación institucional, y la capacidad de los servidores públicos para lograr operar sistemas de manera eficiente, y a nivel metropolitano si se requiere. La priorización de la privacidad, seguridad y apertura del sistema son necesarios para la aceptación de una política de TVi.

El contexto urbano y la visión a futuro deben ser factores determinantes para el diseño funcional de un sistema de TVi. El contexto urbano varía en gran medida de caso a caso, por lo que es importante considerar factores como la geografía de la ciudad o área a implementar, el tipo de política de TVi que se quiere implementar, y los patrones de tráfico existentes. Asimismo, es vital tomar en cuenta que la tecnología cambia a través del tiempo por lo que considerar los avances tecnológicos que se avecinan es vital para determinar la visión a futuro del sistema que se quiere lograr, adaptarse a las nuevas posibilidades que estas habiliten y, a su vez, mitigar potenciales efectos negativos. Por último, hay aspectos que se consideran buenas prácticas generales según la experiencia internacional y que se recomienda tomar en cuenta para escoger la tecnología empleada en el sistema de TVi a implementar, como la gobernanza del sistema, la sencillez de interacción con este, la comunicación con la ciudadanía, y la accesibilidad a este.

Cada tecnología difiere en los tipos de política de TVi a los que se puede aplicar, sus requerimientos de infraestructura, limitaciones, datos generados y costos, que se traducen en ventajas y desventajas de uso que deben evaluarse para su implementación. Cada tecnología va de la mano de otras tecnologías complementarias que ayudan en el intercambio de información, procesamiento de transacciones, cobros, e identificación de usuarios. Es por esto que se debe considerar la inversión necesaria para un sistema de telecomunicaciones adecuado, infraestructura adicional, equipamiento dentro del vehículo, así como los servidores y computadoras donde se centraliza y procesa toda la información. Adicionalmente, aun siendo que por naturaleza la política de TVi recopila información personal de usuarios la cual no es posible anonimizar del todo, la sensibilidad de información varía entre sistemas y puede ser un factor determinante en la aceptación de la población.

Referencias

- Adler, M. W., Peer, S., & Sinozic, T. (2019). Autonomous, connected, electric shared vehicles (ACES) and public finance: An explorative analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100038>
- Adler (2017). To prevent autonomous vehicles clogging our cities, we need to talk about road-pricing. <http://www.citymetric.com/transport/prevent-autonomous-vehicles-clogging-our-cities-we-need-talk-about-road-pricing-3050>
- AIE. (2020). *Trends and developments in electric vehicle markets – Global EV Outlook 2021 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>
- Ajanthan, T., Kamalaruban, P., & Rodrigo, R. (2013). Automatic number plate recognition in low quality videos. *2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems*, 566–571. <https://doi.org/10.1109/ICIIInfS.2013.6732046>
- Atkinson, R. D. (2019). A Policymaker's Guide to Road User Charges. *INFORMATION TECHNOLOGY*, 23.
- Banister, D. (1994). Equity and acceptability questions in internalising the social cost of transport. *Internalising the Social Costs of Transport*, 153–176.
- BID. (2017). *Ciberseguridad: ¿Estamos preparados en América Latina y el Caribe?* | Publications. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Ciberseguridad-%C2%BFEstamos-preparados-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- BBC. (2005). Edinburgh rejects congestion plan. http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/scotland/4287145.stm
- Bocarejo, J. P., Ghio, R. L., & Blanco, A. (2018). *Políticas de tarificación por congestión*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Calatayud, A., & Muñoz, J. C. (2020). El camino hacia un mejor transporte. De estructuras a servicios (p. 245'280). Inter-American Development Bank.

- <https://flagships.iadb.org/es/DIA2020/de-estructuras-a-servicios>
- Calatayud, A., Sánchez González, S., Bedoya Maya, F., Giraldez Zúñiga, F., & Márquez, J. M. (2021). *Congestión urbana en América Latina y el Caribe: Características, costos y mitigación*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0003149>
- Calatayud, A., Sanchez, S., Giraldez Zúñiga, F., Márquez, J. M., & Riobo, A. (2020, April 16). COVID-19 y movilidad urbana: Más congestión en el horizonte cercano. *Moviliblog*. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/covid-19-y-movilidad-urbana-mas-congestion-en-el-horizonte-cercano/>
- Cavallo, E., Serebrisky, T., & Powell, A. (2020). *De Estructuras a Servicios. El Camino hacia una mejor Infraestructura en América Latina*. Inter-American Development Bank.
- Clements, L. M., Kockelman, K. M., & Alexander, W. (2020). Technologies for congestion pricing. *Research in Transportation Economics*, 100863. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100863>
- Crotte, A., Garduño, J., & Carina, A. (2018). *Tarificación Vial. Una política para la reducción de externalidades negativas producidas por el congestionamiento vial*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- De Grange, L., & Troncoso, R. (2015). Límites de la TVi. *EURE (Santiago)*, 41(122), 167–184. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000100008>
- DuPuis, N., Funk, K., Griess, J., & Rivett, B. (n.d.). *Making space: Congestion pricing in cities*. National League of Nations.
- Ericsson Mobility Report June 2020*. (2020). 36.
- Genetec (2012). *How to choose the right ALPR camera for you*. (n.d.). Retrieved August 15, 2021, from <https://www.genetec.com/blog/products/things-to-consider-when-specifying-an-alpr-camera>
- GOV UK (n.d.). *Addressing trust in public sector data use*. Retrieved September 5, 2021, from <https://www.gov.uk/government/publications/cdei-publishes-its-first-report-on-public-sector-data-sharing/addressing-trust-in-public-sector-data-use>
- Hau, T. D. K. (1992). Congestion charging mechanisms for roads: an evaluation of current practice (Vol. 1071). World Bank Publications.

- Jones, P. (1991). Gaining public transport support for road pricing through a package approach. *Traffic Engineering and Control*, 32, 194–196.
- Kumar, T., Gupta, S., & Kushwaha, D. S. (2016). An Efficient Approach for Automatic Number Plate Recognition for Low Resolution Images. *Proceedings of the Fifth International Conference on Network, Communication and Computing*, 53–57.
<https://doi.org/10.1145/3033288.3033332>
- Lehe, L. (2019). Downtown congestion pricing in practice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 100, 200–223. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.020>
- Litman, T. (2004). Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities. *Journal of Public Transportation*, 7(2), 22.
- Mahendra, A. (2008). Vehicle Restrictions in Four Latin American Cities: Is Congestion Pricing Possible? *Transport Reviews*, 28(1), 105–133.
<https://doi.org/10.1080/01441640701458265>
- McKinsey. (2020). *The future of mobility is at our doorstep*.
- McKinsey. (2019). *Public-private partnership: Smart city*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-can-the-private-and-public-sectors-work-together-to-create-smart-cities>
- Moovit. (2021). *COVID-19: ¿Cómo está afectando a la movilidad urbana en América Latina?* Moovit. <https://moovit.com/es/resources/ebooks-and-infographics-es/covid-effect-latam-es/>
- Nie, Y. (Marco). (2017). Why is license plate rationing not a good transport policy? *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1080/23249935.2016.1202354>
- Niskanen, E., & Nash, C. (2008). Road Pricing in Europe—A Review of Research and Practice. In C. Jensen-Butler, B. Sloth, M. M. Larsen, B. Madsen, & O. A. Nielsen (Eds.), *Road Pricing, the Economy and the Environment* (pp. 5–27). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-77150-0_2
- NYU School of Law. (2020). *Congestion Privacy: The Surprising Privacy Toll of New York City's*

Proposed Congestion Pricing System.

<https://static1.squarespace.com/static/5c1bfc7eee175995a4ceb638/t/5e1e2132141b937e2811eeab/1579032882818/Congestion+Privacy+White+Paper+-+STOP+-+NYU+Final.pdf>

ONU-Habitat (2015). Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015. <https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/Reporte-Nacional-de-Movilidad-Urbana-en-Mexico-2014-2015.pdf>

Ortego, J., Andara, R., Navas, L. M., Vásquez, C. L., & Ramírez-Pisco, R. (2021). Impact of the Covid-19 Pandemic on Traffic Congestion in Latin American Cities: An Updated Five-Month Study. In S. Nesmachnow & L. Hernández Callejo (Eds.), *Smart Cities* (Vol. 1359, pp. 216–229). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69136-3_15

Otonomo. (2021, April 17). *Automotive Connectivity is Driving the Future of Mobility.*

Otonomo. <https://otonomo.io/blog/automotive-connectivity-future-mobility/>

Palma, A. D., & Lindsey, R. (2009). *Traffic Congestion Pricing Methods and Technologies*. 51.

Parry, I. W. H., & Small, K. A. (2009). Should Urban Transit Subsidies Be Reduced? *American Economic Review*, 99(3), 700–724. <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.700>

Pike, E. (2010). *Congestion Charging: Challenges and Opportunities*. The International Council on Clean Transportation.

Pishue, B. (2021). *2019 INRIX Global Traffic Scorecard*. INRIX Research.

Poole, B. (2021). *HOW COVID-19 CHANGED THE GLOBAL E-COMMERCE LOGISTICS MARKET: 4 ACCELERATED TRENDS*. Transport Intelligence.

Rodríguez, M., Sosa, M., Fook, A., & Hollnagel, J. (2020, June 18). 3 herramientas tecnológicas que mejorarán la movilidad. *Moviliblog*. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/3-herramientas-tecnologicas-que-mejoraran-la-movilidad/>

SAE (2021). Levels of driving automation. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>

Schaller, B. (2010). New York City's congestion pricing experience and implications for road pricing acceptance in the United States. *Transport Policy* 17(4), 266–273.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.01.013>

Simoni, M., Kockelman, K. M., Gurumurthy, K. M., & Bischoff, J. (2018). *Congestion Pricing in a World of Self-Driving Vehicles: An Analysis of Different Strategies in Alternate Future Scenarios*. <https://arxiv.org/pdf/1803.10872.pdf>

Smith, B.W. (2012). Managing Autonomous Transportation Demand. *Santa Clara Law Review* 52 (4) Article 8; at. <http://digitalcommons.law.scu.edu/lawreview/vol52/iss4/8>

Transport for London (n.d.). Privacy & data protection policy. <http://tfl.gov.uk/corporate/privacy-and-cookies/privacy-and-data-protection-policy>

TomTom. *TomTom Traffic Index*. (2020). https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/

UK Government Office for Science. (2019). *A Time of Unprecedented Change in the Transport System*.

US Department of Transportation. (2008). *Technologies that enable congestion pricing*.