

Vehículos Autónomos

Una revisión bibliográfica sobre su impacto
en la movilidad de las ciudades en la región

Autores:

Agustina Calatayud
Carolina Benítez
Juan Manuel Leaña
Roberto Agosta
Frédéric Blas
Cynthia Goytia
Soledad Guilera
Alexander Riobó Patino
Cristian Navas Duk
Carlos Freytes
Floencia Rodríguez Tourón

Editora:

Carolina Benítez

División de Transporte

NOTA TÉCNICA N °
IDB-TN-1929

Julio 2020

Vehículos Autónomos

Una revisión bibliográfica sobre su impacto
en la movilidad de las ciudades en la región

Autores:

Agustina Calatayud
Carolina Benítez
Juan Manuel Leaña
Roberto Agosta
Frédéric Blas
Cynthia Goytia
Soledad Guilera
Alexander Riobó Patino
Cristian Navas Duk
Carlos Freytes
Florencia Rodríguez Tourón

Editora:

Carolina Benítez

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Vehículos autónomos: Una revisión bibliográfica sobre su impacto en la movilidad de las ciudades en la región / Agustina Calatayud, Carolina Benítez, Juan Manuel Leaña, Roberto Agosta, Frédéric Blas, Cynthia Goytia, Soledad Guílera, Alexander Riobó Patino, Cristian Navas Duk, Carlos Freytes, Florencia Rodríguez Tourón; editora, Carolina Benítez.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1929)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Automated vehicles-Latin America. 2. Electric vehicles-Latin America. 3. Urban transportation-Technological innovations-Latin America. 4. Urban transportation policy-Latin America. I. Calatayud, Agustina. II. Benítez, Carolina. III. Leaña, Juan Manuel. IV. Agosta, Roberto. V. Blas, Frédéric. VI. Goytia, Cynthia. VII. Guílera, Soledad. VIII. Riobó Patino, Alexander. IX. Navas Duk, Cristian. X. Freytes, Carlos. XI. Rodríguez Tourón, Florencia. XII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. XIII. Serie.

IDB-TN-1929

Diseño y Diagramación: Valmore Castillo

Edición de estilo: Ximena Abeledo

Agradecimientos especiales por sus aportes al equipo técnico a la firma consultora AC&A, al CEPE y CIPUV de la Universidad Torcuato Di Tella; a la revisión técnica de Manuel Rodríguez Porcel del área de ITS, a Shirley Cañete, Edgar Zamora y Elías Rubinstein de la División de Transporte del BID.

Contacto: Carolina Benítez (cbenitez@iadb.org)

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 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.



Resumen

La presente nota técnica recorre la literatura disponible sobre los vehículos de conducción automatizada (VCA) y su impacto en los grandes conglomerados urbanos. Se revisan las distintas nomenclaturas y definiciones, los niveles de automatización, las expectativas sobre su adopción y las predicciones de la industria en cuanto a su maduración, analizando las principales tendencias vinculadas a los VCA, como la electrificación vehicular y la movilidad compartida. En tanto, se reseñan los posibles impactos de los VCAs en las grandes ciudades a través de una exhaustiva revisión bibliográfica.

Clasificaciones JEL: O2, O3, O18, O32, O35, Z18

Palabras clave: automatización, vehículos de conducción automatizada, movilidad, urbe, infraestructura, seguridad, equidad, contaminación, salud, políticas públicas, planificación de transporte.

VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Una revisión bibliográfica sobre su impacto
en la movilidad de las ciudades de la región





VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Una revisión bibliográfica sobre su impacto
en la movilidad de las ciudades en la región

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO //5

2. EL MARCO TECNOLÓGICO: LOS VEHÍCULOS DE CONDUCCIÓN AUTOMATIZADA //09

Definiciones //10

Predicciones de la industria //14

Ritmo de adopción de la tecnología //16

Los VCA y la electrificación vehicular //18

Marco tecnológico adoptado //19

3. EL CONTEXTO DE LAS NUEVAS MOVILIDADES //21

La movilidad como un servicio //22

El ecosistema de los servicios de movilidad compartida hoy //23

4. IMPACTOS DE LAS INNOVACIONES //26

Impactos genéricos //27

Impactos de primer orden //28

Impactos de segundo orden //35

Impactos de tercer orden //49

5. CONCLUSIONES //62

6. BIBLIOGRAFÍA //67

1 | RESUMEN EJECUTIVO



Un vehículo de conducción automatizada (VCA) es aquél que puede moverse sin la intervención de un humano. Para ello, utiliza diversas tecnologías que le permiten detectar e identificar personas y objetos, medir sus velocidades, prever sus intenciones y tomar decisiones en tiempo real. Un VCA requiere una sincronización armoniosa de sensores avanzados que recopilan información sobre el entorno, algoritmos sofisticados que procesan los datos y controlan el vehículo y potencia computacional para procesar todo en fracciones de segundo¹.

Las expectativas asociadas a la tecnología de conducción automatizada han ido creciendo a lo largo de la última década, en la presente nota técnica se analizan en detalle cuáles son las distintas nomenclaturas y niveles de automatización que se conocen de acuerdo a la literatura disponible: nivel 1 de “Asistencia al Conductor”, nivel 2 de “Automatización Parcial de Conducción”, nivel 3 denominado “Automatización Condicional de Conducción”, nivel 4 de Automatización Alta de Conducción”, y nivel 5 de “Automatización Completa de Conducción”.

1. BID (2019). Vehículos autónomos. Potencial y riesgos para América Latina y el Caribe.



Niveles de Conducción Automatizada.

Nivel SAE	0	1	2	3	4	5
	Conductor humano: monitorea el ambiente y la conducción			Sistema de conducción automático: monitorea el ambiente de conducción		
	No automatización	Asistencia al conductor	Conducción autom. parcial	Conducción autom. condicional	Conducción autom. elevada	Conducción autom. completa
	El conductor realiza constantemente todos los aspectos dinámicos de la conducción. Ningún sistema interviene - únicamente los que advierten al conductor.	El sistema puede realizar el manejo o la aceleración/frenado. El conductor tiene que encargarse continuamente de la otra actividad.	El sistema realiza ambas actividades de aceleración/frenado en caso de uso definido.	El sistema realiza ambas actividades de aceleración/frenado en caso de uso definido. Tiene capacidad de reconocer sus limitaciones y notifica al conductor.	El conductor puede delegar el manejo completo al sistema en un caso de uso definido.	El sistema puede asumir el manejo completo en todos los casos.
	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción.	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción. Tiene que poder asumir el control total inmediatamente.	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción. Tiene que poder asumir el control total inmediatamente.	El conductor no tiene que monitorear constantemente la conducción pero tiene que poder asumir el control en un determinado lapso, si el sistema lo requiere.	El conductor no está solicitado en estos casos ni para monitorear ni respaldar.	El conductor no es requerido.
Manejo aceleración/frenado	Conductor humano	Conductor humano y sistema	Sistema	Sistema	Sistema	Sistema
Monitoreo ambiente de conducción	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Sistema	Sistema	Sistema
Tareas dinámicas de conducción en modo respaldo	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Sistema	Sistema
Capacidad del sistema (Modos de conducción)	N/A	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Sistema

Fuente: SAE, 2016.

En cuanto a las estrategias alrededor de la transformación de la tecnología vehicular, la nota técnica revisa la bibliografía en torno a tres de ellas: la “automatización completa”, la “coordinación” y la “transformación de los consumidores”.

Lo cierto es que de la combinación de los distintos niveles de automatización y estrategias del mercado, pueden surgir innumerables escenarios que transformarán el transporte del futuro. Por ejemplo:

- Predicciones de la industria: La mayoría de las fuentes prevén una disponibilidad comercial de vehículos de conducción automatizada elevada o completa (niveles 4 y 5) en el transcurso de la próxima década, más probablemente al principio.
- Ritmo de adopción de la tecnología: Las tendencias en cuanto a la adopción de tecnologías indicarían que éstas suelen ser cada vez más aceleradas, con plazos cada vez menores entre el momento de aparición / comercialización y su uso por un porcentaje elevado de la población.
- Los VCA y la electrificación vehicular: Es de esperarse que la tendencia a la electrificación creciente acompañe al desarrollo de la tecnología, así como ocurre con la movilidad compartida. Existen una sinergia entre estas tres tendencias, las cuales hacen pensar en un probable desarrollo complementario, aunque podrían ocurrir de forma independiente.

Por otro lado, en la última década asistimos a un cambio en el modo en el que se concibe y se provee movilidad a los ciudadanos de una urbe, que puede resumirse en el

concepto “movilidad como un servicio” (Mobility as a Service o MaaS, según su denominación en inglés).

- MaaS: Se utiliza para referirse a una reorganización de los sistemas de movilidad a fin de brindar una alternativa atractiva al automóvil particular, cuya condición de posibilidad es la existencia de una plataforma tecnológica que permita al usuario acceder a toda la oferta disponible y escoger o combinar distintos servicios de movilidad de forma fácil y continua.
- El ecosistema de los servicios de movilidad compartida hoy: Por su relevancia en términos de su relación con los VCAs, hay dos servicios de movilidad compartida motorizada de pasajeros que podrían apoyar el desarrollo de esta tecnología: autos compartidos (*carsharing*) y viajes compartidos (*ridesharing*).

IMPACTO DE LAS INNOVACIONES

Para caracterizar los impactos que podrán generar los VCAs, se pueden dividir en tres niveles.

- Impactos de Primer Orden: La hipótesis fundamental de la cual derivan el grueso de los impactos es que la automatización vehicular tendrá un efecto sobre el Costo Generalizado (CG) del viaje en automóvil.
- Impactos de Segundo Orden: Los impactos de segundo orden son aquellos que se producen como efecto de los cambios en el costo generalizado del viaje y las preferencias asociadas de los usuarios.
- Impactos de Tercer Orden: Los impactos de tercer orden son el resultado de las distintas combinaciones posibles entre los impactos de segundo orden.

La tecnología de los VCA promete grandes cambios y beneficios en el sector de transporte, tales como: (i) reducción de incidentes causados por el error humano; (ii) menor congestión gracias a la coordinación entre vehículos; (iii) reducción de contaminación al trabajar con vehículos eléctricos; y (iv) menor consumo de energía entre otros. Sin embargo, tendrá grandes implicancias en diferentes áreas de formulación de planificación del transporte que hacen que aún se generen incertidumbres sobre el verdadero impacto.

Pero aún son muchos los desafíos que enfrentan los VCA: (i) desarrollo tecnológico específico en el área de sensores e inteligencia artificial; (ii) respuesta ante posibles colisiones; (iii) el despliegue de flotas de VAC compartidos en un contexto urbano podría competir con los servicios de transporte público masivo; (iv) gran impacto en los modelos comerciales de los fabricantes de automóviles por reducción de ventas de vehículos particulares; (v) riesgos de accidentes por fallas en los sistemas; (vi) gestión del espacio liberado; y (vii) riesgos de ciberataques; (viii) y reducción del valor del tiempo en viaje, dado que las personas podrán realizar otras tareas en el vehículo. Ante estos escenarios, la implicación de las políticas de transporte, la gobernanza y la forma efectiva de actuar resultan cruciales.

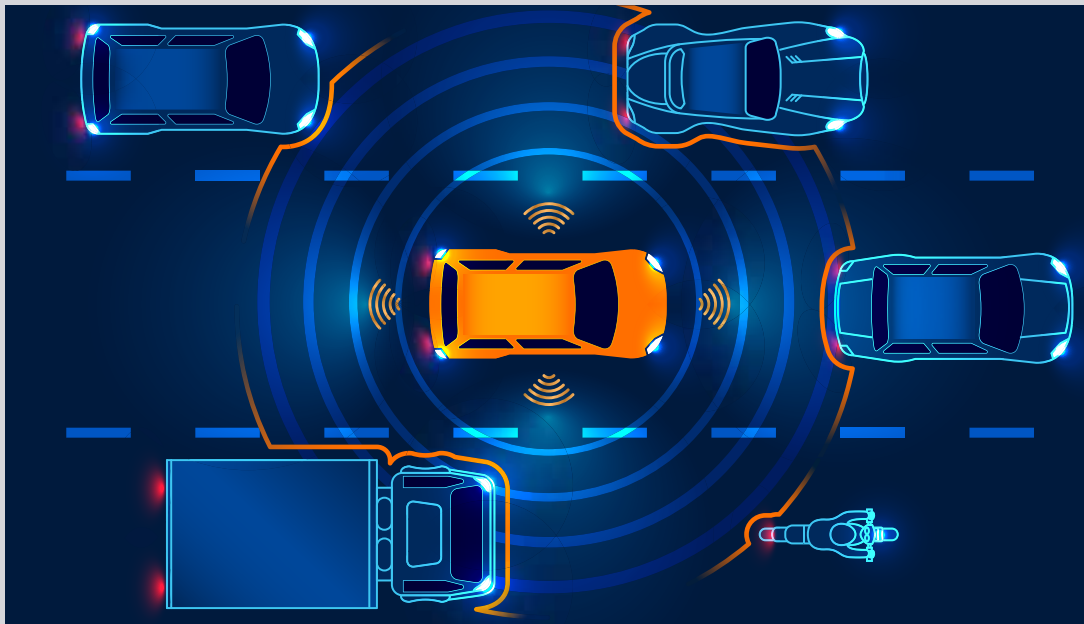
En la presente nota técnica se analizan, por ejemplo, las tendencias de la electrificación vehicular y la movilidad como un servicio. En tanto, se enumeran los principales impactos que los VCA podrían tener en las ciudades a través de una exhaustiva revisión bibliográfica. Los impactos de primer orden (costos de adquisición, costos de operación, electrificación vehicular, costos y valor del tiempo), los impactos de segundo orden (impactos en la infraes-

estructura, propiedad individual o movilidad compartida, elección de localización, sistema de movilidad), y los impactos de tercer orden (seguridad vial, impactos ambientales, efectos sobre la salud, competitividad y equidad).

La presente nota técnica se complementará con una siguiente nota, en donde se muestre la metodología y la realización de una encuesta Delphi elaborada a través de la consulta de 136 expertos de más de 14 países, y el análisis de 27 ciudades de América Latina a fin de comprender las distintas dinámicas urbanas de la región.



2 | EL MARCO TECNOLÓGICO: LOS VEHÍCULOS DE CONDUCCIÓN AUTOMATIZADA



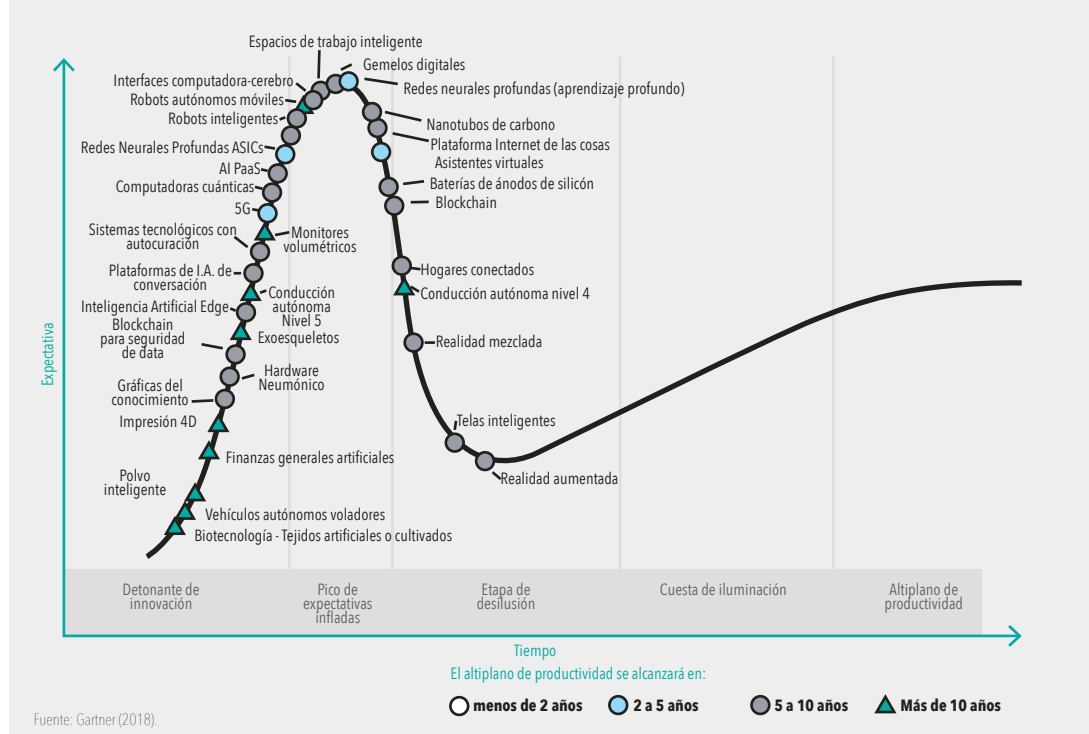
Fuente imagen: Shutterstock (<https://www.shutterstock.com/es/image-vector/autonomous-smart-car-goes-on-road-635240822>)

Las expectativas asociadas a la tecnología de conducción automatizada han ido creciendo a lo largo de la última década, en buena medida de la mano de los anuncios y de la puja de los actores tecnológicos y de la industria automotriz. Esto se ha visto reflejado en las curvas elaboradas por Gartner (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) de seguimiento de las previsiones de mercado en cuanto al potencial de las principales tecnologías hasta alcanzar y mantenerse en el “pico de expectativas infladas” desde 2015 hasta 2017.

Desde 2018, y probablemente a raíz de los casos de accidentes de Uber y Tesla, Gartner ha reconsiderado el nivel de expectativas de mercado de la tecnología de conducción automatizada, desdoblándola en nivel 4 (de operación automatizada limitada a ciertos ambientes / entornos) y nivel 5 (conducción automatizada en cualquier entorno y conducción). Si bien en ambos casos se prevé el alcance de un nivel de maduración superior a 10 años, el nivel 5 sigue

relacionado con expectativas altas, con posibles beneficios aún por explorarse, mientras que el nivel 4 se concibe sustancialmente más limitado.

Figura 1. Curva de ciclos de entusiasmo para tecnologías emergentes, 2018.



En el presente estudio se utiliza la nomenclatura vehículo de conducción automatizada (VCA), siguiendo las recomendaciones de la SAE (Society of Automotive Engineers, Estados Unidos), dado que los vehículos no tienen estrictamente la capacidad de decidir por sí mismos en el sentido de dar finalidad a sus acciones. La utilización del término “autónomo”, si bien es de uso extendido, no describe de forma exacta las características y las potencialidades de esta tecnología.



Definiciones



Tanto la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) de Estados Unidos, como la Sociedad Internacional de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers - SAE), establecida en Estados Unidos, han elaborado una taxonomía para la descripción de la automatización de los vehículos automotores. No obstante desde Septiembre 2016 (SAE, 2016), la NHTSA ha adoptado la nomenclatura SAE.

En ambos casos, se describen los niveles de automatización, que van de una función de asistencia al conductor hasta la automatización completa donde no es necesario un conductor (U.S. Department of Transportation, 2015). La diferencia principal entre ambas nomenclaturas consiste en la consideración que SAE realiza en niveles de completa automatización: se distingue el nivel 4 en el que la automatización completa existe para determinados modos de conducción del (último) nivel 5, donde ésta se aplica para todos los modos de conducción, mientras que la NHTSA los unifica (U.S. Department of Transportation, 2015).

En el marco de este proyecto, se eligió seguir la nomenclatura y la taxonomía propuestas por SAE y que se describe brevemente a continuación (SAE, 2016).

La SAE propone una descripción de los “sistemas de conducción automática” que participan de parte o del conjunto de la “Tarea Dinámica De Conducción” (TDC) de manera “sostenida”. El documento de SAE distingue tres actores primarios en la “conducción”: el “conductor” (“humano”), el “sistema automático de conducción” y otros sistemas y componentes del “vehículo”. Los niveles de automatización se definen entonces en referencia al “rol” que cada uno de estos actores realiza en la TDC. El “rol” se define como el rol esperado no como la acción circunstancial momentánea que uno de estos actores puede desempeñar.

Figura 2. Niveles de Conducción Automatizada.

Nivel SAE	0	1	2	3	4	5
	Conductor humano: monitorea el ambiente y la conducción			Sistema de conducción automático: monitorea el ambiente de conducción		
	No automatización	Asistencia al conductor	Conducción autom. parcial	Conducción autom. condicional	Conducción autom. elevada	Conducción autom. completa
	El conductor realiza constantemente todos los aspectos dinámicos de la conducción. Ningún sistema interviene - únicamente los que advierten al conductor.	El sistema puede realizar el manejo o la aceleración/frenado. El conductor tiene que encargarse continuamente de la otra actividad.	El sistema realiza ambas actividades de aceleración/frenado en caso de uso definido.	El sistema realiza ambas actividades de aceleración/frenado en caso de uso definido. Tiene capacidad de reconocer sus limitaciones y notifica al conductor.	El conductor puede delegar el manejo completo al sistema en un caso de uso definido.	El sistema puede asumir el manejo completo en todos los casos.
	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción.	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción. Tiene que poder asumir el control total inmediatamente.	El conductor tiene que monitorear constantemente la conducción. Tiene que poder asumir el control total inmediatamente.	El conductor no tiene que monitorear constantemente la conducción pero tiene que poder asumir el control en un determinado lapso, si el sistema lo requiere.	El conductor no está solicitado en estos casos ni para monitorear ni respaldar.	El conductor no es requerido.
Manejo aceleración/frenado	Conductor humano	Conductor humano y sistema	Sistema	Sistema	Sistema	Sistema
Monitoreo ambiente de conducción	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Sistema	Sistema	Sistema
Tareas dinámicas de conducción en modo respaldo	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Conductor humano	Sistema	Sistema
Capacidad del sistema (Modos de conducción)	N/A	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Algunos modos de conducción	Sistema

Fuente: SAE, 2016.

SAE define el nivel 1 como “Asistencia al Conductor” y lo describe como la ejecución de movimientos laterales (giro) o longitudinales (aceleración, frenado) en un modo específico de operación por un sistema de automatización, con la expectativa de que el conductor realice el resto de la TDC. En este nivel, el sistema puede controlar el direccionamiento o el frenado/aceleración del vehículo pero no ambos a la vez.

El nivel 2, denominado “Automatización Parcial de Conducción”, se describe como la ejecución de movimientos laterales y longitudinales de manera simultánea, en un modo específico de operación por un sistema de automatización y con la expectativa de que el conductor realice el resto de la TDC.

En la actualidad, los sistemas asociados a los niveles 1 y 2 están ampliamente difundidos comercialmente y son referidos como sistemas de asistencia a la conducción. Estos incluyen por ejemplo el control de crucero adaptativo, el frenado de emergencia autónomo, el detector de carril, el asistente de mantenimiento de carril y la asistencia al estacionamiento. Por ejemplo, el modelo S de Tesla está asociado al nivel 2. En ambos niveles, el conductor tiene que conservar el control del vehículo y del entorno en todo momento.

En el nivel 3, denominado “Automatización Condicional de Conducción”, un Sistema Automático de Conducción (SAC) del vehículo puede realizar todos los aspectos de la TDC bajo algunas circunstancias. El conductor humano tiene que estar listo para poder tomar el control en cualquier momento en el que el SAC lo requiera. En cualquier otra circunstancia, el conductor humano realiza el resto de la TDC.

Este nivel presenta, en la práctica, serios problemas de seguridad al requerir que el conductor recupere el control del vehículo en un muy corto lapso tras un periodo de inatención.

En el nivel 4, denominado “Automatización Alta de Conducción”, un sistema SAC del vehículo puede realizar todas las tareas de conducción y de monitoreo del entorno de conducción, siempre y cuando se encuentre en un ámbito apropiado de operación (definido como ODD – *Operational Design Domain* - por la SAE), que es definido por ejemplo geográficamente (tipo de ruta, condición de la infraestructura, etc.) y temporalmente (condiciones climáticas, horario, etc.). No es necesario que el humano preste atención en estas circunstancias.

Stocker y Shaheen (Stocker & Shaheen, 2018) proponen un repaso a Febrero 2018 de las pruebas piloto (17 activas) en curso en Estados Unidos de VCA de Nivel 4, previstos para operar en modo compartido, dentro de los cuales se pueden mencionar por ejemplo las iniciativas de Waymo en Phoenix (AZ), Kirkland (WA), Mountain View (CA) y Austin (TX), Nutonomy con Lift en Boston (MA) pero también de Cruise con General Motors, EasyMilo, Uber, Ford y Navya. De estos 17 pilotos, 11 son realizados sobre vehículos convencionales mientras que seis lo son con vehículos de tipo “shuttle” de baja velocidad. Pruebas similares están en curso en Europa, Asia y Australia.

Figura 3. Vehículo Nutonomy utilizado en el piloto de Boston, MA (tipo convencional).



Fuente: www.boston.gov, 2019.

Figura 4. Vehículo Easymile (tipo "Shuttle").Fuente: <http://www.easymile.com>, 2019.

En el nivel 5, denominado “Automatización Completa de Conducción”, un SAC del vehículo puede realizar toda la TDC en todas las circunstancias (cualquier ODD). Los ocupantes humanos son únicamente pasajeros de los cuales nunca se requerirá que se involucren en la conducción.

Figura 5. Estado actual y predicciones preliminares de sistemas de asistencia a la conducción

	2010	2020	2030	2040
Nivel 1 Asistencia al conductor	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Modo Crucero ⊙ Frenado autónomo 			
Nivel 2 Conducción automatizada parcial		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Modo crucero y asistencia en línea ⊙ Asistencia de aparcamiento 		
Nivel 3 Conducción automatizada condicional		<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Piloto auto: congestión, autopista y aparcamiento ⊙ Piloto auto: VAC en pelotón 		
Nivel 4 Conducción automatizada alta			<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Intervención humana en situaciones particulares 	
Nivel 5 Conducción automatizada completa			<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Sin conductor completo ⊙ Servicio masivo a demanda 	

Fuente: IHS, 2014.

A efectos del presente trabajo, se utiliza la denominación VCA para Vehículo de Conducción Automatizada, y refiriéndose a los vehículos de nivel 4 y 5 de automatización.



Predicciones de la industria

Así como lo presenta el trabajo de Bloomberg y The Aspen Institute (Bloomberg & The Aspen Institute, 2017), se pueden visualizar tres estrategias alrededor de la transformación de la tecnología vehicular:

- La “automatización completa”. Esta estrategia es la desarrollada por Google al enfocarse en el desarrollo de vehículos de conducción totalmente automatizada (Nivel 4/5).
- La “coordinación”. Propone la automatización del conjunto de sistemas de transporte para un manejo sofisticado de personas y bienes. Tanto Google como Amazon han avanzado en esta dirección.
- La “transformación de los consumidores” se concentra en los consumidores, con el agregado paulatino de mejoras a los vehículos privados. Esto es por ejemplo el modelo seguido por Tesla, cuyos vehículos son actualizados regularmente con agregados tecnológicos de ayuda a la conducción, recorriendo así los primeros niveles de conducción automatizada (Nivel 2 actualmente).

Es aún incierto cual enfoque predominará en los próximos años, pero el abanico de posibilidades de desarrollo es amplio. En particular, las aplicaciones de transporte, tipos de vehículos y agregados tecnológicos se multiplican. Desde los distintos tipos de vehículos operados en flotas para pasajeros (“*shuttles*”, taxis, etc.), vehículos para bienes y cargas (camiones, mini-vehículos para distribución urbana) o individuales con niveles avanzados de particularización, todo indica que el paisaje del transporte pasará por una transformación profunda en las próximas décadas.

La literatura especializada suele elaborar distintos tipos de predicciones y escenarios de implementación de la tecnología de VCA:

1. **Predicciones de disponibilidad:** el momento en el que la tecnología de nivel 4 / 5 de VCA estaría disponible en el mercado. Estas predicciones dependen principalmente de los avances tecnológicos, de las demostraciones de seguridad de operación y de las regulaciones correspondientes, siendo este último punto variable en cada región o país.
2. **Predicciones de ventas y participación de mercado:** el ritmo de penetración de la tecnología de nivel 4 / 5 y del consecuente reemplazo de las flotas actuales de vehículos de conducción no completamente automatizada. Estas predicciones dependen, además de lo relativo a la disponibilidad, de las posibles regulaciones y esquemas de incentivos, limitaciones de infraestructura, de la velocidad de adopción por parte de los usuarios que depende a su vez de múltiples factores como la sensación de seguridad, los costos de adquisición y mantenimiento, la valoración de nuevos servicios y del tiempo individual, etc.
3. **Predicciones de “uso”** (propiedad individual o compartida): el reparto o la modalidad de uso de los vehículos, esto es el eventual cambio de paradigma hacia un uso compartido de los vehículos (en detrimento de la propiedad individual) y modalidades de movilidad como un servicio, aspecto desarrollado más adelante. Así como las predicciones de ventas, estas últimas dependen fuertemente de condicionantes locales como regulaciones y políticas públicas que condicionen por ejemplo la oferta de nuevos servicios.

Tal como se puede visualizar en la tabla siguiente, la mayoría de las fuentes consultadas prevén una disponibilidad comercial de vehículos de conducción automatizada elevada o completa (niveles 4 y 5) en el transcurso de la próxima década, más probablemente al principio.

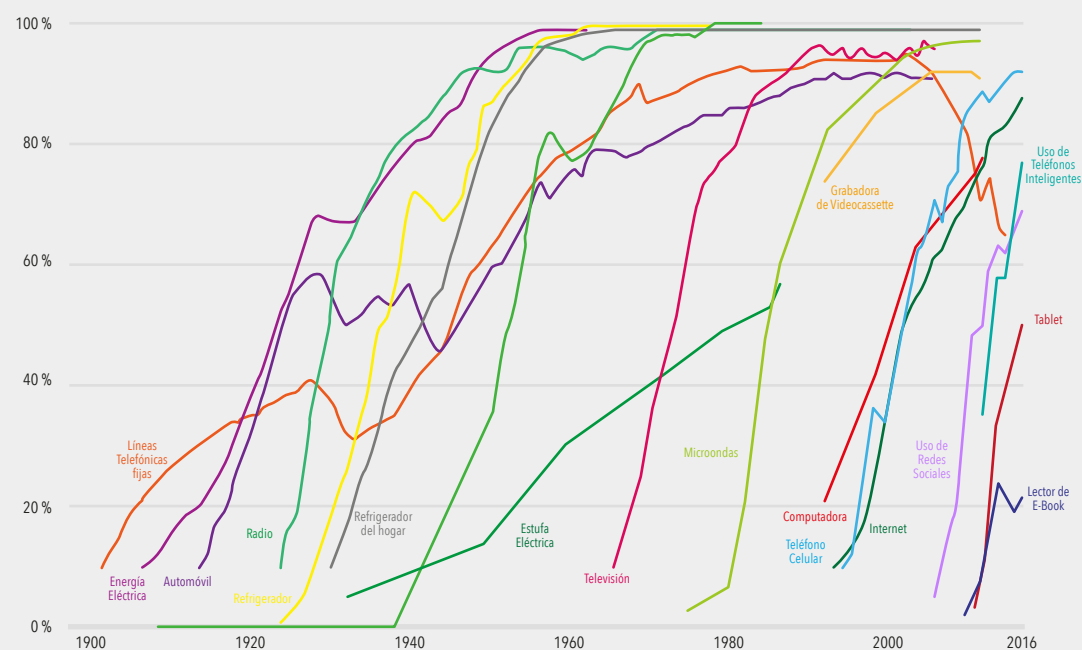
Tabla 1 Resumen de predicciones de disponibilidad de VCA de niveles 4 y 5.			
Fuente - Autor	Año	Previsión de disponibilidad para Nivel 4 / 5	Referencia Bibliográfica
Morgan Stanley	2013	2019-2022 para Nivel 3 / 4 Después de 2033 para Nivel 5	(Morgan Stanley, 2013)
Mc Kinsey y BNEF	2016	Mediados de década 2020	(McKinsey&Company & Bloomberg, 2016)
TSC	2017	2020-2025	(Transport Systems Catapult, 2017)
Deloitte	2016	2020 para uso compartido 2022 para uso privado	(Deloitte, 2016b)
Litman	2018	Década 2020	(Litman, 2018)
Fulton	2017	Principios de década 2020	(Fulton, Mason, & Meroux, 2017)
IHS Markit	2018	2019	(IHS Markit, 2018)
Kohli y Willumsen	2016	2021 EEUU y Canadá 2024-2026 resto del mundo	(Willumsen & Kohli, 2016)
ERTRAC	2015	2020-2024 Nivel 4 2028 Nivel 5	(ERTRAC, 2015)
Saujot et al (IDDRI)	2018	2022 Nivel 4 (Francia) 2025-2030 Nivel 5 (Francia)	(Saujot, Brimont, & Sartor, 2018)
Accenture	2018	2025 Nivel 4 (Alemania) 2030 Nivel 5 (Alemania)	(Accenture, 2018)
Turck	2018	2019-2020	(Turck, 2018)
ARK Invest	2017	2019	(ARK Invest, 2017)
BCG y WEF	2016 2018	2018	(The Boston Consulting Group, 2016) (World Economic Forum & The Boston Consulting Group, 2018)
UITP	2017	Principios de década 2020	(UITP, 2017)



Ritmo de adopción de la tecnología

Si bien existe un relativo consenso en cuanto a las posibles fechas de disponibilidad de los últimos niveles de conducción automatizada, el ritmo de adopción, los niveles de uso y de penetración son mucho más variables en función de la fuente consultada. Las tendencias en cuanto a la adopción de tecnologías indicarían que éstas suelen ser cada vez más aceleradas, con plazos cada vez menores entre el momento de aparición / comercialización y su uso por un porcentaje elevado de la población (Comin & Hobijn, 2010).

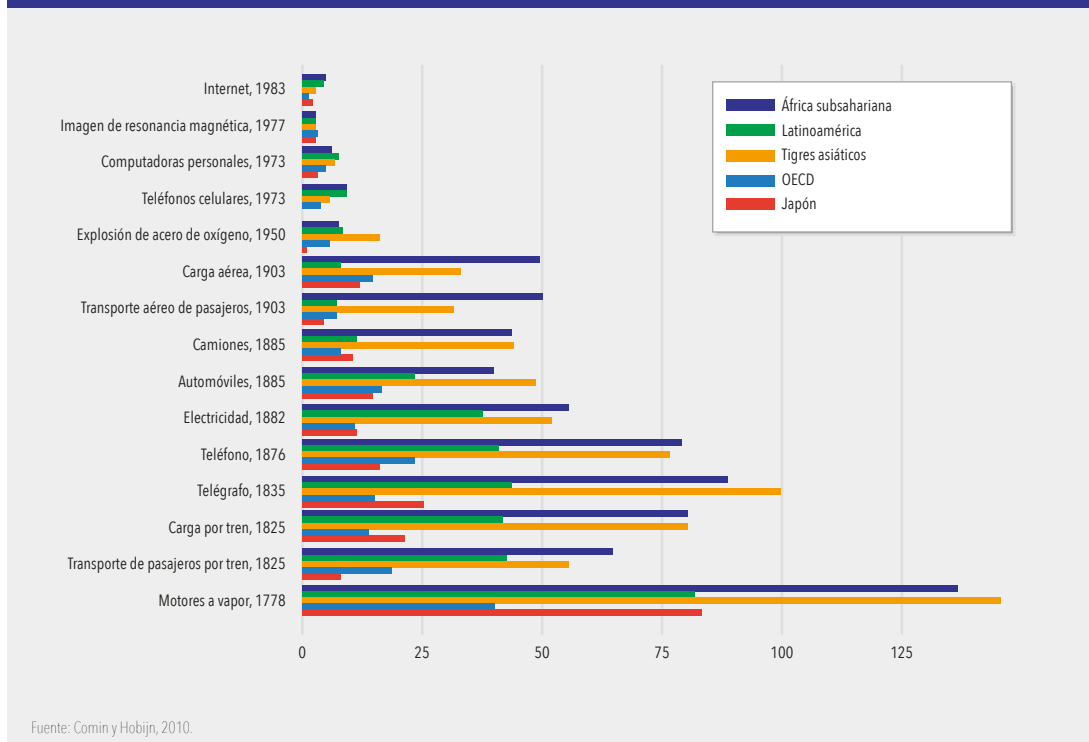
Figura 6. Ritmo de adopción de tecnologías por hogares de Estados Unidos.



Fuente: <https://ourworldindata.org/technology-adoption>.

Por otra parte, Corbin y Hobijn (2010) también muestran una correlación entre los niveles de ingresos per cápita y los tiempos (o retrasos) de adopción de las tecnologías entre las distintas regiones del mundo. De esta manera, la región latinoamericana muestra demoras regulares en los niveles de adopción respecto de los primeros adoptadores (generalmente Estados Unidos y Gran Bretaña) pero también de los países de la OCDE. No obstante, así como aumentan los ritmos de adopción, se acortan las diferencias entre regiones al respecto. El gráfico a continuación muestra estas diferencias (retrasos) en los tiempos de adopción por región y por tecnología (con año de invención). Se observa, por ejemplo, que para la última tecnología reseñada, Internet, la región latinoamericana tardó 4 años más para ser adoptada respecto de Estados Unidos y 3 años respecto de la OCDE.

No obstante, uno de los autores en una publicación posterior (Comin & Mestieri, 2010) también advierte que si bien las diferencias en adopción observadas parecen reducirse, el motivo por el cual esto no se refleja en una convergencia del ingreso per cápita entre países se encuentra en la forma de medir estas diferencias. Efectivamente, esta se mide en términos de márgenes

Figura 7. Diferencias en tiempos de adopción de tecnologías entre regiones.

“extensivos” (entre puntas de adopción), no obstante los “márgenes intensivos” (adopción ponderada por el porcentaje de la población que la genera) no se han reducido al mismo ritmo. La misma investigación explica que 45% de las diferencias entre ingresos per cápita se relaciona con los retrasos de adopción, medidos en términos de “márgenes intensivos”.

En lo que concierne a la tecnología de conducción automatizada, resulta clave entender cuáles serían los condicionantes de su adopción pero también las diferencias al respecto entre la región latinoamericana y las regiones más avanzadas (Estados Unidos y Europa). Como se indicó más arriba, para la última tecnología reseñada (Internet), la región latinoamericana tardó unos 3 o 4 años más que Estados Unidos y la OCDE en ser adoptada. Asimismo, los ritmos de adopción de los VCAs, tanto en la región como en países de economías más desarrolladas, dependerán de numerosos condicionantes que serán analizados más adelante en el marco de este estudio. Algunos elementos de respuesta pueden encontrarse en las respuestas de los expertos consultados a través de la encuesta Delphi realizada en el marco de este estudio y cuyos resultados de primera vuelta son presentados en anexo.

Teniendo en cuenta los altos niveles de incertidumbre, este análisis suele realizarse sobre la base de escenarios. Los análisis y trabajos disponibles utilizan distintos enfoques que se presentan brevemente a continuación:

- Las predicciones mejor enfocadas en la industria se concentran en las posibles barreras o incentivos comerciales en términos político-económicos ([Morgan Stanley, 2013], [Litman, 2018], [Transport Systems Catapult, 2017]).
- La gran mayoría de los trabajos sobre VCAs presentan alguna consideración sobre los nuevos servicios de movilidad compartida. Ya sea desde las implicancias del lado de la

oferta (tecnología, nuevos servicios de menor costo / mayor accesibilidad / confort, cambios en la industria, etc.) o desde los patrones de comportamiento de los consumidores alrededor de la propiedad individual de vehículos. Se intenta distinguir varios enfoques, o tratamientos del futuro de la movilidad:

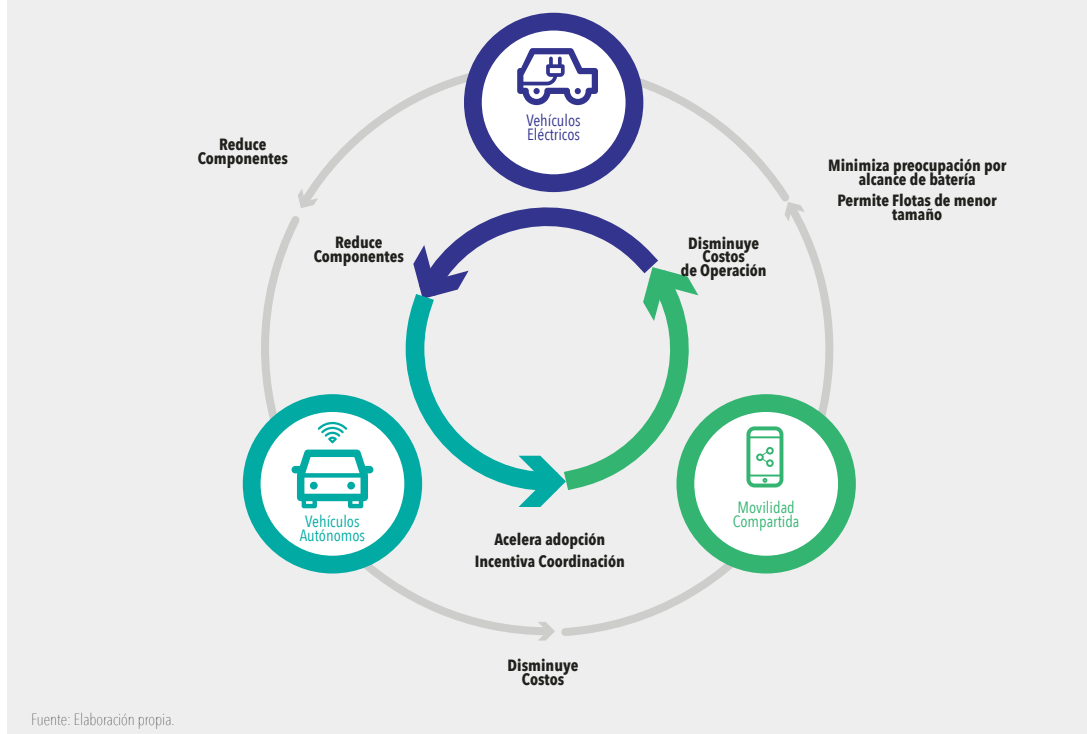
- Las distintas combinaciones posibles entre VCAs y movilidad compartida. Este es el principal enfoque, que considera distintas posibilidades de implantación y revolución alrededor de las modalidades compartidas. En esta línea, están por ejemplo los estudios de (The Boston Consulting Group, 2016), (Deloitte, 2016b), (Berylls Strategy Advisors, 2017), (Fulton et al., 2017), y (Saujot et al., 2018).
- Algunos trabajos no elaboran escenarios alrededor de las movilidades compartidas pero asumen su tendencia creciente para proyectar, por ejemplo, niveles de implementación de VAs. En todo caso, las posibles variaciones en las predicciones tienen que ver con las etapas de transición y despliegue en las que las políticas públicas pueden favorecer alguna vía sobre otra. En particular, este es el enfoque de (McKinsey&Company, 2016), (KPMG, 2017), (Accenture, 2018), (Arbib & Seba, 2017), (ATKINS, 2015), (Schwartz, Arcadis, & HR&A, 2017). El trabajo (Bloomberg & The Aspen Institute, 2017) se sitúa entre este enfoque y el anterior, considerando impactos para dos escenarios: VCAs compartidos y VCAs individuales.
- Se pueden mencionar trabajos que ahondan en los escenarios de transición y posibles caminos hacia el despliegue de las tecnologías VCA en conjunto (o no) con las movilidades compartidas: (Bodde & Sun, 2016), (G. Meyer & Beiker, 2016) y (Gordon, Kaplan, El Zarwi, Walker, & Zilberman, 2018). Este último es particularmente interesante ya que llega a la conclusión que el modelo de propiedad individual prevalecerá (contrariamente a los demás trabajos).
- Dentro del análisis por escenarios, los trabajos de (Shaheen, Camel, & Lee, 2013), (Ecola, Zmud, Gu, Phleps, & Feige, 2015) reflexionan en cómo distintas condiciones de tipo “macro”, por ejemplo económicas, sociales o ambientales, generan diferentes ámbitos futuros con resultados diferentes en cuanto al transporte futuro.

Finalmente, algunos trabajos construyen escenarios más complejos, con consideraciones más bien de políticas públicas, decisiones de planeamiento, etc. pero también condicionantes exógenos. Entre ellos están: (Townsend, 2014), (Milakis, Snelder, Arem, Wee, & Correia, 2016), (OECD - International Transport Forum, 2017), y (Ecola, Rohr, Zmud, Kuhnimhof, & Phleps, 2014).



Los VCA y la electrificación vehicular

Si bien desde el punto de vista tecnológico los VCA pueden desarrollarse con motor de combustión interna, es de esperarse que la tendencia a la electrificación creciente acompañe al desarrollo de la tecnología, así como ocurre con la movilidad compartida. En la figura a continuación se muestran las sinergias que existen entre estas tres tendencias, las cuales hacen pensar en un probable desarrollo complementario, aunque podrían ocurrir de forma independiente.

Figura 8. Sinergias entre electrificación, automatización y movilidad compartida.

Marco tecnológico adoptado

Se entiende que las funcionalidades que permiten los niveles 1 y 2 de conducción automatizada ya están disponibles en el mercado en vehículos de media y alta gama. Y si bien su adopción masiva permitiría notables mejoras en materia de seguridad vial, ésta no tendría mayores implicancias en los sistemas de movilidad urbana en su conjunto. Por otra parte, el nivel 3 de automatización de la conducción representa un quiebre respecto de los niveles anteriores en tanto el conductor podría ser relevado de algunas tareas de conducción y de monitoreo del ambiente en determinados entornos, pero la necesidad de que pueda eventualmente retomar el control del vehículo en pocos segundos plantea serios problemas de seguridad, además de fuertes limitaciones en cuanto a los posibles beneficios asociados con la automatización. Esta última consideración ubica posiblemente el nivel 3 como un escalón teórico entre los niveles adyacentes más que como una real posibilidad de desarrollo e implementación.

Por lo tanto, a efectos del presente trabajo y en sus sucesivos avances, se considerarán como VCA aquellos vehículos de conducción automatizada elevada o completa, esto es los denominados niveles 4 y 5 para los cuales se alcanzarían plenamente los beneficios esperables de menores costos de operación, cambio en la utilidad del tiempo de viaje, eficiencia en la conducción, etc.

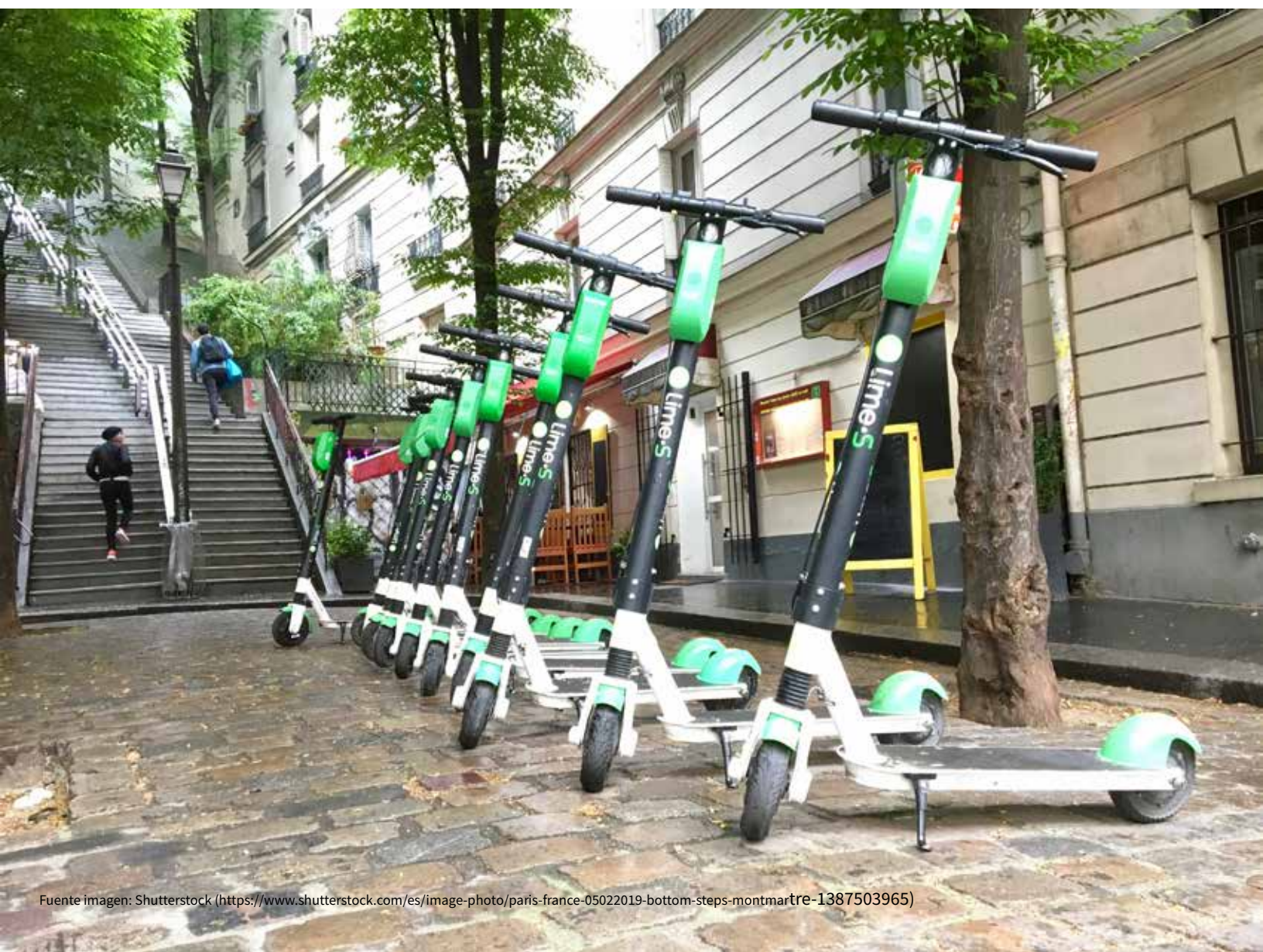
Adicionalmente, así como lo presentan la mayoría de los antecedentes de referencia (Deloitte, 2016; Morgan Stanley, 2016; McKinsey y BNEF, 2016; BCG, 2017 y Bloomberg, 2017), la tecnología VCA - en sus niveles de automatización altos - presenta importantes sinergias en términos de costos con la electrificación vehicular y con los modelos de movilidad compartidas.

Así como se presentó anteriormente, se prevé que la tendencia creciente actual de electrificación vehicular se acelere, impulsada principalmente por regulaciones de los principales



países productores (y consumidores) de vehículos, fuertes eficiencias y reducciones de costos. Esta dinámica se ha trasladado a la industria con anuncios y futuros desarrollos orientados a vehículos eléctricos (Tesla, uno de los principales actores de la tecnología VCA habiendo hecho por ejemplo la elección de desarrollar únicamente vehículos eléctricos). Por lo tanto, a efectos del presente trabajo, consideramos que los VCA de nivel 4 / 5 serán eléctricos.

Finalmente, el potencial cambio de paradigma asociado a las movidades compartidas (en sus múltiples formas) se analiza con más profundidad en el capítulo siguiente. Entendemos que la interacción con la tecnología VCA depende de una diversidad de factores y por lo tanto será explorada a través de un análisis por escenarios y de los intercambios con el panel de expertos (encuesta Delphi) en próximos avances.



Fuente imagen: Shutterstock (<https://www.shutterstock.com/es/image-photo/paris-france-05022019-bottom-steps-montmartre-1387503965>)

3 | EL CONTEXTO DE LAS NUEVAS MOVILIDADES



Fuente imagen: Shutterstock
(<https://www.shutterstock.com/es/image-photo/smiling-hipster-girl-waiting-public-transport-1145890766>)

En la última década asistimos a un cambio en el modo en el que se concibe y se provee movilidad a los ciudadanos de una urbe, que puede resumirse en el concepto “movilidad como un servicio” (*mobility as a service* o MaaS, según su denominación en inglés). Este concepto comporta un viraje respecto de la planificación y operación tradicionales, ya que trasciende el abordaje por modos hacia una integración de todos los servicios en opciones de movilidad “continuada” (*seamless*).

Además, esta forma de entender la movilidad resulta más adecuada para pensar la inclusión de los nuevos servicios de movilidad que surgieron a la luz de la disponibilidad tecnológica y el desarrollo de la economía colaborativa.

La irrupción de Uber y la miríada de servicios de movilidad a demanda que surgieron posteriormente marca un quiebre en la relación tradicional entre planificador, operador, regulador y usuario de transporte. Ante esta situación, las agencias gubernamentales han tomado actitudes diversas, en un espectro que abarca desde la prohibición hasta el *laissez faire*, en función de las características de la ciudad donde se insertan, la cultura de planificación, la robustez institucional y otros factores.

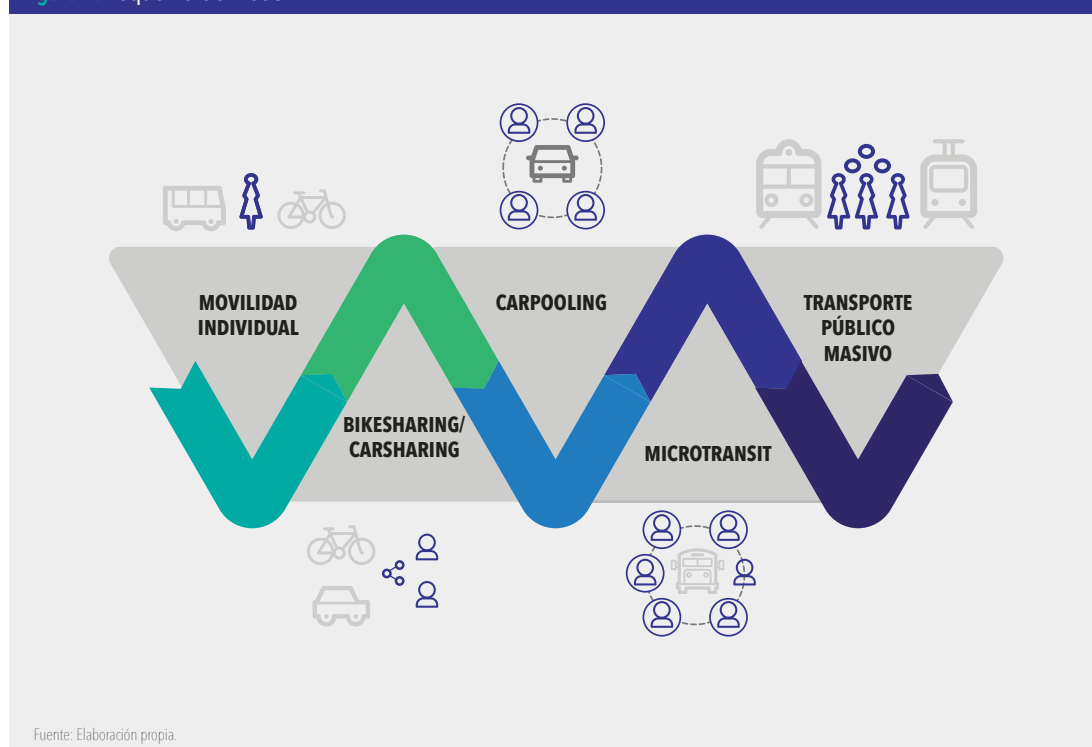
Más allá de la situación actual, el nuevo ecosistema tecnológico abre nuevas posibilidades para mejorar la experiencia del usuario y la eficiencia de los sistemas. Además, ofrece condiciones sinérgicas para interactuar con el ecosistema de la automatización, lo cual se verifica en las características del complejo industrial-tecnológico que está apalancando el desarrollo de los VCAs, en el que empresas tipo Uber se convierten en actores centrales.



La movilidad como un servicio

La utilización del término “movilidad como un servicio” se utiliza para referirse a una reorganización de los sistemas de movilidad a fin de brindar una alternativa atractiva al automóvil particular, cuya condición de posibilidad es la existencia de una plataforma tecnológica que permita al usuario acceder a toda la oferta disponible y escoger o combinar distintos servicios de movilidad de forma fácil y continua.

Figura 9. Esquema de MaaS.



El entendimiento de la movilidad (en nuestro caso la movilidad urbana) como un servicio implica superar la visión sectorial que tradicionalmente ha prevalecido en la planificación, operación y regulación del transporte, según la cual los modos se comportan como silos con escasa o nula interacción entre sí. Esta visión se ha reflejado en las configuraciones institucionales con jurisdicción sobre el transporte urbano, que aún persisten en muchos países de la región. Por ello, arribar a una visión MaaS es mucho más que desarrollar una aplicación, sino reestructurar la forma en que se planifican, se proveen, se cobran y se regulan los servicios de movilidad en una ciudad.

Más allá de su uso corriente, la literatura especializada no ha consensuado una definición estricta del concepto MaaS. Siguiendo a (Sochor, Sarasini, & Karlsson, 2017), hay tres elementos que son comunes a las distintas definiciones, a saber:

- Ofrecer un servicio con el foco puesto en las necesidades del usuario.
- Ofrecer movilidad en lugar de transporte.
- Ofrecer integración de los servicios de transporte, la información y el pago.

Los mentados autores proponen una topología de MaaS en 4 niveles, según la cual se definen niveles incrementales de integración de los elementos que componen a los servicios de transporte.

Figura 10. Niveles de integración.



La evolución de la movilidad hacia niveles de integración más avanzados será un aspecto clave a considerar a la hora de evaluar cómo se desarrollarán los VCAs en el futuro, en términos de su competencia y complementariedad con el resto de los modos disponibles.

El ecosistema de los servicios de movilidad compartida hoy

El crecimiento de los servicios de movilidad compartida a través de aplicativos tecnológicos ha sido exponencial desde el lanzamiento de UBER en marzo de 2009. Existe en la actualidad un ecosistema que abarca distintos tipos de vehículos (automóviles, scooters, bicicletas, vans) y distintos tipos de servicios (Shaheen & Chan, 2016).

Por su relevancia en términos de su relación con los VCAs, nos focalizaremos en los servicios de movilidad compartida motorizada de pasajeros: autos compartidos (*carsharing*) y viajes compartidos (*ridesharing*).



Figura 11. Tipos de servicios de movilidad compartida.



Autos compartidos

Las iniciativas de autos compartidos no son nuevas y se remontan a la década de 1940. Sin embargo, la evolución tecnológica ha permitido que estos modelos escalen y se prevé que crezcan en el futuro. Existen dos tipos de servicios:

- **Circular:** los usuarios acceden a una flota de vehículos a través de una tarifa horaria y deben dejar el vehículo donde fue retirado, debiendo realizar un viaje de ida y vuelta. Ejemplo: Avis, Hertz.
- **Punto a punto:** los usuarios pueden tomar el vehículo en un punto y devolverlo en otro, lo cual brinda mayor flexibilidad (por ejemplo en los tramos de última milla). Actualmente este tipo de servicios funcionan con modalidad flotante o con estaciones (los autos se toman y se dejan en cualquier punto del área de operación del servicio o en lugares fijos designados, respectivamente). Ejemplo: car2go, Zipcar.
- **Automóvil personal:** los usuarios acceden a vehículos de propiedad individual de otras personas en distintas modalidades (entre pares puro, intermediado por plataformas, modelos híbridos o propiedad compartida). Ejemplo: Drivy.

Viajes compartidos

Mientras que en el modelo anterior el producto ofrecido es un vehículo, en este caso se hace foco en el viaje. Los usuarios no solo se liberan de la carga de poseer un vehículo, sino también de las tareas de conducción. Los servicios de viajes compartidos pueden clasificarse en:

- **Tradicional:** corresponde a las iniciativas para compartir vehículos entre personas con orígenes y destinos similares, tanto automóviles (*carpooling*) como vans (*vanpooling*). Puede realizarse de modo informal entre conocidos (familiares, colegas, etc.) o a través de sitios web que requieren una membresía. Ejemplo: Blablacar.
- **Servicios de viajes a demanda:** la diferencia de estos servicios respecto de los tradicionales es que intermedia una aplicación o plataforma tecnológica. Esta ca-

tegoría incluye a las empresas de redes de transporte, que conectan a usuarios con conductores que ponen a disposición su vehículo personal (pueden ser viajes individuales o dividiendo el costo con otros usuarios), y a las aplicaciones que congregan a los taxis tradicionales. Ejemplo: Uber, Lyft, Easy Taxi, 99.

- **Micro-transporte:** los servicios de transporte en vehículos tipo van (competitivos o complementarios con transporte público) han existido por décadas, en condiciones formales e informales. La evolución tecnológica ha mejorado notablemente el alcance y la eficiencia de estos servicios, ofreciendo a través de plataformas servicios de ruta y programación tanto fijas como flexibles. Ejemplo: Chariot, Via.



Fuente imagen: Shutterstock (<https://www.shutterstock.com/es/image-photo/new-york-may-25-2017-fiat-648871705>)

4 | IMPACTOS DE LAS INNOVACIONES



Fuente imagen: Shutterstock

(<https://www.shutterstock.com/es/image-photo/vilnius-lithuania-april-23-2016-power-409976623>)

Aunque aún exista un alto grado de incertidumbre respecto de cuándo y con qué ritmo se adoptarán los VCAs en el futuro, se verifica cierto consenso entre especialistas de la industria, el sector público y la academia acerca del carácter inexorable del desarrollo de esta tecnología. Es relevante entonces comprender cuáles podrían ser sus impactos en las ciudades.

A continuación se reseñarán los posibles impactos de los VCAs de modo general, a través de una exhaustiva revisión bibliográfica.

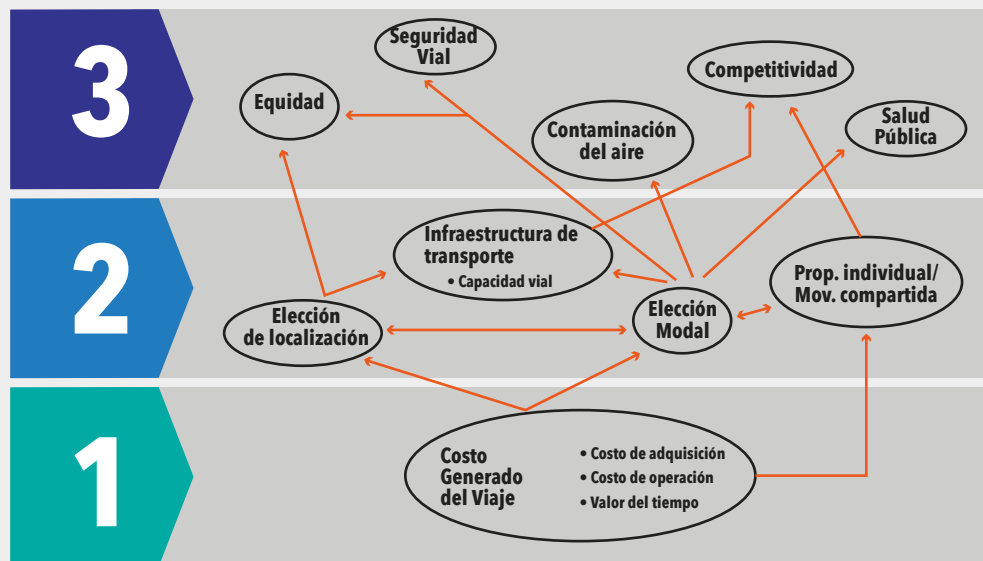
Impactos genéricos

Los VCAs suponen una serie de ventajas respecto de los vehículos tradicionales que pueden redundar en beneficios para los usuarios. Sin embargo, el hecho de que la movilidad individual se vuelva más atractiva produce nuevos desafíos en términos de sostenibilidad de las ciudades.

Para caracterizar los impactos que podrán generar los VCAs, estos se pueden organizar en un esquema de tres niveles, inspirados en la propuesta de Milakis et al. (Milakis, Van Arem, & Van Wee, 2017):

- Impactos de primer orden: cambios que la automatización producirá sobre el costo generalizado del viaje, en términos de costo de adquisición, costo de operación y valor del tiempo; son impactos a nivel de agente.
- Impactos de segundo orden: factores que intervienen en la elección modal, como la localización de individuos y firmas, las preferencias sobre la propiedad (modelo de propiedad individual) o el uso (movilidad compartida) de los VCAs, y los impactos resultantes de esa nueva configuración del reparto modal sobre la infraestructura urbana y de transporte (incluida la capacidad vial).
- Impactos de tercer orden: el resultado agregado de las decisiones y restricciones combinadas en los niveles 1 y 2 en términos de la sociedad en su conjunto, con respecto a la seguridad vial, la equidad social, la competitividad de la economía, la contaminación del aire y la salud.

Figura 12. Desarrollo conceptual de impactos de los VCAs.



Fuente: Elaboración propia en base a Milakis et al. (2017).



Impactos de primer orden

La hipótesis fundamental de la cual derivan el grueso de los impactos es que la automatización vehicular tendrá un efecto sobre el costo generalizado (CG) del viaje en automóvil. La noción de costo generalizado proviene de la economía del transporte y se utiliza para condensar los costos monetarios y no monetarios de un viaje. Los costos monetarios son aquellos que implican una erogación concreta en dinero (el combustible, los peajes, el estacionamiento, los seguros, entre otros). Los no monetarios son los que reflejan la (des)utilidad del viaje del viaje en términos de tiempo. Esta última se monetiza en función del valor que le asignan los distintos agentes a ese tiempo que no se utiliza en otras actividades, es decir del costo de oportunidad del tiempo.

En esta sección se realizará una revisión de la literatura existente en lo relativo a costos. Primero se establecerán las estimaciones respecto del costo de adquisición de los VCAs, que serían, al menos en etapas tempranas, más onerosos que los vehículos actuales y por ende aumentarían el CG del viaje en automóvil. Luego, se explorarán los efectos sobre los costos de operación, que en el conjunto se estima tenderán a reducirse. Por último, se estudiarán los impactos sobre el valor del tiempo de viaje, el cual aún resulta incierto.

Costos de adquisición

Los VCAs requieren equipamientos adicionales a bordo, incluyendo sistemas de GPS, LIDARs, cámaras, sensores y sistemas informáticos varios que suman costos adicionales ((Blas, Massin, Uranga, Agosta, & Rodríguez, 2018), (Wadud, 2017)). Estos costos adicionales son los que conforman la prima o el sobreprecio considerado en la literatura, con valores variables según la fuente y el año de la estimación. IHS Markit (IHS Markit, 2014), referencia citada en varios antecedentes, indica una prima de entre 7.000 USD y 10.000 USD en 2025 que bajaría a alrededor de 3.000 USD en 2035. Kohli y Willumsen (Willumsen & Kohli, 2016) estiman (a partir de una encuesta a expertos) un valor promedio de 6.677 USD al momento de disponibilidad. KPMG (KPMG, 2017), TSC (Transport Systems Catapult, 2017), Stephen et al. (Stephens et al., 2016) se sitúan en estos mismos órdenes de magnitud (en torno a 7.000 USD). BCG (The Boston Consulting Group, 2015) y Kockelman y Fagnant (Fagnant & Kockelman, 2013) estiman un sobreprecio cercano a los 10.000 USD al momento de introducción al mercado y de 3.000 USD 10 años después. Finalmente, Bloomberg (Bloomberg & The Aspen Institute, 2017) prevé una importante disminución de los costos asociados a la tecnología LIDAR arrastrando así el valor de la prima de adquisición de un VA a menos de 1.000 USD en 2030.

Adicionalmente a la prima por la tecnología de conducción automatizada, es de esperar una variación en los costos de adquisición de vehículos vinculada a la electrificación de los motores y a la consecuente reducción de sus componentes (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018). Por ejemplo, se estima que el costo de las baterías tendrá una reducción del 54% para el año 2030 (Curry, 2017) y a estos efectos Johnson y Walker (Johnson & Walker, 2016) estiman una reducción del costo del vehículo eléctrico del 13% al año 2030.

Preferencias de los usuarios: la disposición a pagar

Un aspecto necesariamente vinculado al costo de adquisición de los vehículos es el grado de aceptación de la tecnología de conducción automatizada por parte de los posibles usuarios. Aunque indagar sobre preferencias en un estadio de desarrollo temprano de la tecnología puede inducir a distorsiones, existen en la literatura algunos indicios sobre este aspecto.

Las mayores preocupaciones que manifiestan las personas respecto de los VCAs tienen que ver con la seguridad por fallas de los sistemas, el temor a perder totalmente el control del vehículo y las cuestiones relativas a la responsabilidad legal (Haboucha, Ishaq, & Shiftan, 2017). Un estudio de Schoettle y Sivak (Sivak & Schoettle, 2016) en 6 países encontró que un 90.1% de las personas reportan algún nivel de preocupación respecto de la performance de los VCAs en comparación con un conductor humano. La seguridad es el aspecto más acuciante (Casley, Jardim, & Quartulli, 2013).

De acuerdo con WEF-BCG (The Boston Consulting Group, 2016), una encuesta en 27 ciudades del mundo mostró que los principales beneficios percibidos por las personas son tres: eludir la tarea de estacionar, la posibilidad de realizar otras actividades durante el viaje y no tener que conducir en situaciones de congestión. Un 60% de las personas indicó que estarían interesados en utilizar un VCA.

Estos resultados presentan variaciones en virtud de las características de las personas. En términos de género, las mujeres tienden a expresar mayor preocupación acerca de los aspectos negativos asociados a los VCAs, así como mayor escepticismo respecto de sus posibles beneficios (Sivak & Schoettle, 2016). En lo que concierne a la edad, en general las personas jóvenes tienden a mostrar mayor apertura hacia los VCAs, aunque también los adultos mayores han mostrado interés (Haboucha et al., 2017). El nivel educativo también parece ser un factor determinante, ya que las personas con mayor nivel educativo tienen expectativas más positivas respecto de los beneficios de los VCAs en términos de seguridad y reducción del tiempo de viaje (Sivak & Schoettle, 2016). Siguiendo a Lavieri et al. (Lavieri et al., 2017), los jóvenes urbanos de alto nivel educativo son los que primero abrazarán la automatización vehicular y las modalidades compartidas, siendo la preocupación por el medioambiente, y la inclinación hacia la tecnología aspectos fundamentales a considerar. Por último, las diferencias regionales pueden jugar un rol. Tanto los distintos niveles de congestión como los distintos niveles de enraizamiento de la cultura del automóvil que existen en las ciudades desarrolladas y en desarrollo pueden afectar la proclividad de las personas a aceptar un VCA (World Economic Forum & The Boston Consulting Group, 2018).

Si bien estas opiniones pueden cambiar conforme crezca la exposición de las personas a las nuevas tecnologías y no deben tomarse como invariables, las representaciones acerca de los VCAs tienen un efecto en la disposición a pagar (DAP) de las personas por el sobre costo que implica la automatización respecto de un vehículo tradicional.

Existen varios estudios que exploran este aspecto. Según Daziano et al. (Daziano, Leard, & Sarrias, 2016), un hogar en Estados Unidos está dispuesto a pagar en promedio 3.500 USD por automatización parcial (nivel 3) y 4.900 USD por automatización total (niveles 4 y 5); las respuestas tienen sin embargo una dispersión significativa, con personas que pagarían hasta 10.000 USD y otras que no pagarían nada. Kyriakidis et al. (Kyriakidis, Happee, & De Winter, 2015) encontraron a través de una encuesta online en 109 países que el 22% no está dispuesto a pagar ninguna prima por un VCA, mientras que un 5% indicó estar dispuesto a pagar más de 30.000 USD. El modo de la muestra se ubicó entre 3001 y 5000 USD. Un 33% reportó que la experiencia de no tener que manejar sería altamente disfrutable. Kockelman y Bansal (Bansal & Kockelman, 2017) estimaron una disposición a pagar para Estados Unidos de 5.551 USD por un nivel 3 y 14.589 USD para un nivel 4². Bansal et al. (Bansal, Kockelman, & Singh, 2016), estiman para la ciudad de Austin, Texas, una DAP de 7.253 USD en el caso de automatización

2. Los autores utilizan en este caso la nomenclatura de NHTSA (2013), según la cual el nivel 3 implica una automatización limitada a contextos específicos y el nivel 4 una automatización completa.

total. Según la opinión de los expertos, las personas estarán dispuestas a pagar un valor entre 0 y 25% sobre el precio de un vehículo tradicional, llegando hasta aproximadamente 6.500 USD (Saujot et al., 2018).

Cabe esperar que la DAP de las personas aumente conforme los VCAs se vuelvan una opción real y se contrarresten las expectativas negativas con un desarrollo seguro de la tecnología. Los movimientos de las preferencias de las personas serán claves a fin de modelar la curva de adopción de los VCAs. Siguiendo a Kockelman y Bansal (Bansal & Kockelman, 2017), un sostenimiento de las preferencias actuales en el tiempo implicaría una adopción lenta. A 2045, una reducción del 5% anual en el precio y una DAP constante resultaría en una penetración de los VCAs nivel 4 (5 en la clasificación SAE) del 24,8%, mientras que una variación anual del -10% en el precio y +10% en la DAP elevaría su participación al 87,2%.

En consecuencia, la evolución de los precios y la DAP es un aspecto cardinal para el futuro de los VCAs. Farooq et al. (2018) han llamado la atención sobre las limitaciones de los instrumentos tradicionales como las encuestas para explorar preferencias en un contexto de gran incertidumbre y cómo el uso de instrumentos más realistas como la inmersión virtual pueden cambiar significativamente los resultados. El desarrollo de nuevas formas de investigar es un aspecto relevante para profundizar el entendimiento sobre las preferencias de los usuarios en un contexto de generalización de los VCAs.

Costos de operación

Nuevamente basándonos en Blas et al. (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018), la tecnología VCA (en niveles 4/5) potencialmente impactará en la mayoría de los conceptos de las estructuras de costos operativos de los vehículos individuales, tanto privados como públicos (taxis, movilidad compartida, etc.), presentando distintos tipos de ahorros.

El ahorro a priori más evidente es la desaparición de los costos asociados a la conducción (salarios y cargas sociales). A título de ejemplo, Blas et al. (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018) muestran que para los servicios de la Ciudad de Buenos Aires, este costo se encuentra en el orden de 50% de la actual estructura de costos de los taxis, mientras que para los buses alcanza un 46%. En el caso de los vehículos privados, esto se traduce en un cambio en la utilidad (valor del tiempo) del conductor, aspecto que se trata en el apartado siguiente.

Los costos de (consumo de) energía suelen representar otro importante ítem en las estructuras de costos de los vehículos. Nuevamente, Blas et al. (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018) estiman para la Ciudad de Buenos Aires que estos representan del orden de 15% tanto para los taxis como para los buses, y 19% para los vehículos privados. Los VCA podrían habilitar ahorros en este rubro gracias a un manejo más eficiente del vehículo, que Stephens et al. (Stephens et al., 2016) estiman en 10%, pero también a una reducción del peso del vehículo tras la eliminación de elementos de seguridad por un manejo más seguro, ahorro que Bloomberg (Bloomberg & The Aspen Institute, 2017) estima en cerca del 50% mientras que Wadud et al. (Wadud, 2017) lo sitúa más bien en un máximo de 23%.

Justamente, la disminución de accidentes es quizás uno de los principales impactos citados a modo de argumento en favor del despliegue de la tecnología AV. Se prevé efectivamente una disminución radical de los accidentes, hoy debidos en su mayoría al error humano (cerca del 90% de los casos según (Mikulík et al., 2013)), lo cual habilitaría una

notable reducción de los costos de seguro que Bösch et al. (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018) suponen del 50%. Estos mismos autores advierten no obstante sobre la incertidumbre alrededor de la evolución de la industria de seguros automotores (ver por ejemplo (KPMG, 2015) y (Deloitte, 2016a)).

En un segundo orden de magnitud, si bien los sensores de la autonomización podrán requerir algún tipo de mantenimiento, las fuentes consultadas no suelen considerar ningún costo adicional por esta tecnología frente a los costos de mantenimiento actuales ((Blas, Massin, Uranga, et al., 2018), (Bösch et al., 2018), (Johnson & Walker, 2016)). Litman (Litman, 2018) también advierte sobre costos de limpieza adicionales en el caso de VCA de servicios taxis.

Electrificación vehicular

Así como se estableció en el marco tecnológico de este estudio, en función de las tendencias actuales de evolución de las tecnologías vehiculares, se considera que los VCA de nivel 4/5 serán eléctricos.

La electrificación vehicular a su vez implica modificaciones importantes en las estructuras de costos, tanto de los vehículos privados, individuales de servicio público y colectivos. Por el lado de los costos de adquisición, los vehículos podrían experimentar un fuerte impacto en su estructura de costos gracias a una reducción de los componentes de estos motores. Por otra parte, la necesidad de reemplazo de baterías - principal driver del precio de los vehículos eléctricos (Bösch et al., 2018) - durante la vida útil de los vehículos eléctricos supone un sobre costo importante. No obstante, son esperables importantes reducciones de los costos de batería pero también mejoras en su durabilidad. Por ejemplo, se estima que el costo de las baterías tendrá una reducción del 54% para 2030 (Curry, 2017) y a estos efectos Johnson y Walker (Johnson & Walker, 2016) estiman una reducción del costo del vehículo eléctrico del 13% también para ese mismo año. Bösch et al. (Bösch et al., 2018) consideran que los ahorros y sobre costos mencionados anteriormente se compensan mientras que Blas et al (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018) consideran un sobre costo de 10% respecto del vehículo tradicional.

Por otra parte, los vehículos eléctricos presentan varios ahorros adicionales en costos operativos:

- en los costos de mantenimiento gracias a la simplificación de los motores (10% según Johnson y Walker),
- en el costo de energía que tanto Rodier (Rodier, 2018) como Johnson y Walker y Bösch et al. sitúan en 50% (o cerca de),
- en los costos del seguro, situándose éstos en un 35% menos para los vehículos eléctricos según comparaciones realizadas por Bösch et al.

Evolución y síntesis de estructuras de costos

En términos agregados, y así como se presentó en los apartados anteriores, el conjunto de los antecedentes consultados coinciden en una importante disminución de los costos de transporte gracias a la automatización y la electrificación vehicular.

A continuación se reseñan las referencias bibliográficas en las que encontramos un análisis completo de la evolución de los costos de movilidad, por modo y en función del marco tecnológico adoptado. Las 8 fuentes consultadas consideran de hecho que los VCA serán eléctricos y la mayoría suele considerar variaciones en cuanto al uso compartido de vehículos.

De las 8 referencias citadas, 4 muestran valores para Estados Unidos, 3 para países Europeos (Francia, Suiza y Holanda) mientras que Blas et al. lo hacen para la Ciudad de Buenos Aires.

Tabla 2 Costos actuales y futuros según diversos antecedentes.

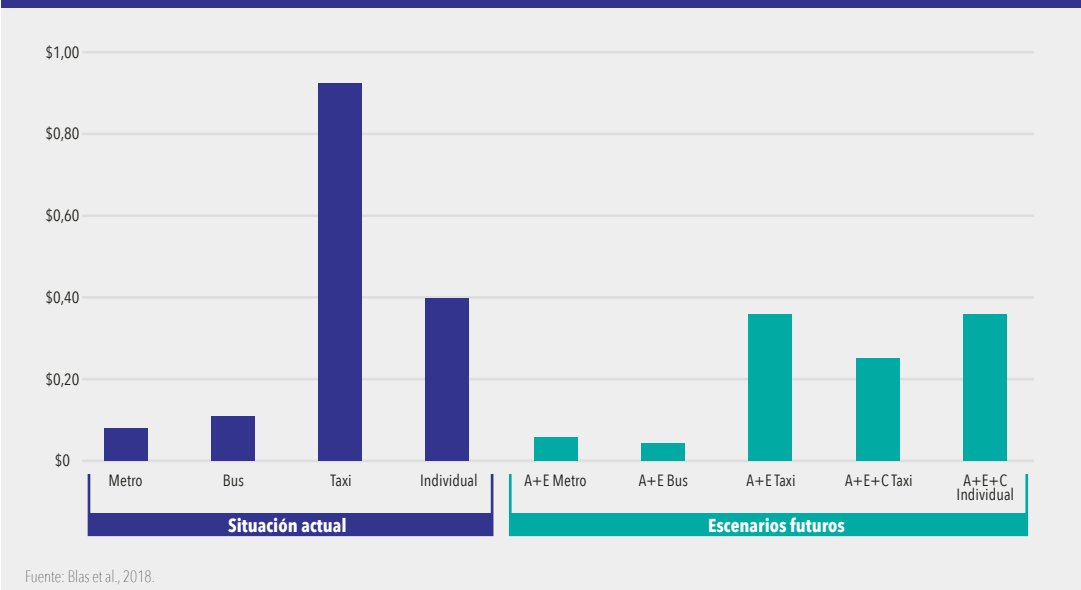
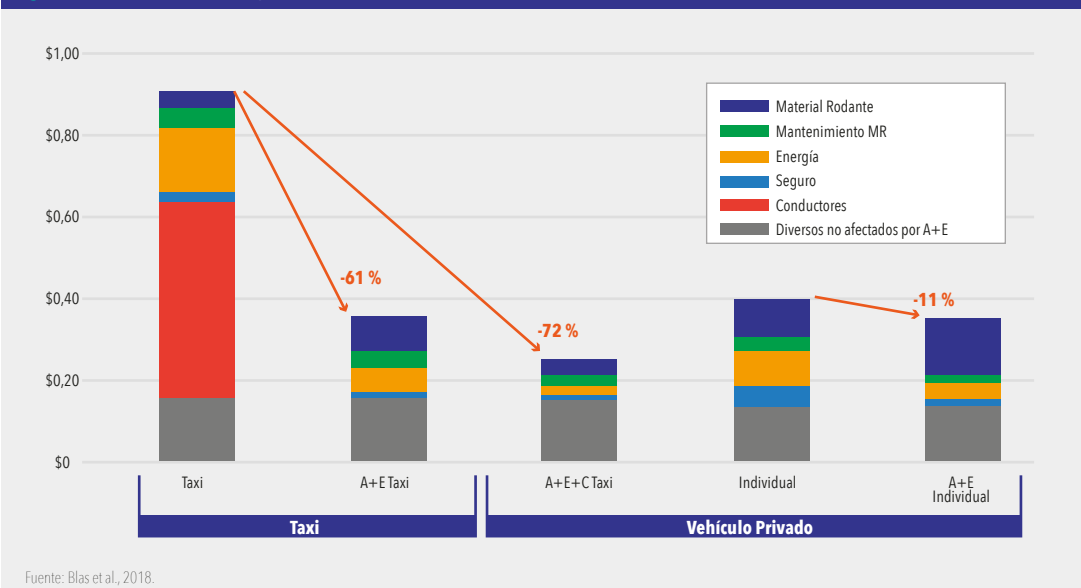
Referencia	Ubicación considerada	Costo en modos actuales (USD / pax-km)*					Costo en modos futuros (USD / pax-km) **				
		Metro / Tren urbano	Bus	Taxi	TNC	Veh. Priv. Indiv.	A+E Metro	A+E Bus	A+E Taxi / TNC Indiv.	A+E Taxi / TNC Comp.	A+E Priv. Indiv.
(ARK Invest, 2017)	San Francisco, USA	0,143	0,137	2,175	1,778	0,435			0,218		
(The Boston Consulting Group, 2016)	Holanda	0,137				0,456			0,365	0,125	0,479
(Blas, Massin, Uranga, et al., 2018)	CABA, Argentina	0,084	0,110	0,923		0,397	0,062	0,048	0,357	0,256	0,353
(Bösch et al., 2018)	Suiza		0,530	2,730	1,610	0,480		0,240	0,410	0,290	0,500
(Johnson & Walker, 2016)	USA				1,274	0,497			0,528		0,218
(Litman, 2018)	USA	0,155		1,554	1,243	0,311			0,497	0,186	0,622
(McKinsey & Company & Bloomberg, 2016)	USA			1,715	0,820	0,267			0,416	0,106	
(Saujot et al., 2018)	Francia					0,345			0,518	0,230	

* Vehículos de combustión interna (salvo Metro / Tren Urbano) ** Vehículos de Conducción Automatizada (A) y Eléctricos (E)

Fuente: Elaboración propia

El conjunto de los autores prevé una disminución significativa de los costos de servicios de taxi (entre 50% y 90%) para alcanzar valores entre 0,218 y 0,518 USD / pers-km. Estos valores podrían conocer disminuciones aún más significativas si se considera el modo taxi compartido (con ocupaciones promedio de entre 2 y 3 pasajeros), alcanzando costos de entre 0,106 y 0,290 USD / pers-km. Sistemáticamente, estos valores se ubican en el orden o por debajo del costo estimado para vehículos privados individuales actuales (entre 0,267 y 0,497 USD / pers-km). Cinco de los antecedentes mencionados proyectan una evolución de estos para VCAs privados, con resultados que difieren: BCG (2016), Blas et al. (2018) y Bösch et al. (2018) prevén valores muy próximos a los actuales mientras que Johnson y Walker (2016) estiman una disminución de 44% del costo y Litman un aumento de 100%.

Dos de los antecedentes (Blas et al., 2018 y Bösch et al., 2018) realizan también una estimación de la evolución del costo del modo bus: en ambos casos estiman una disminución del orden del 55%, aunque en el primer caso -en términos relativos- el valor sigue siendo sustancialmente inferior a los modos taxi aún en modo compartido mientras que en el segundo es similar.

Figura 13. Costos de transporte en Situación Actual vs Escenarios Futuros (USD/Pax-km).**Figura 14.** Costos de transporte en Situación Actual vs Escenarios Futuros (USD/Pax-km).

En síntesis, el costo del modo taxi podría experimentar una notable reducción en su versión eléctrica y de conducción automatizada, alcanzando valores semejantes a los de un vehículo privado individual (0,3 - 0,4 USD / pers-km). Considerando el modo taxi compartido, la disminución mencionada se acentúa, alcanzando valores (entre 0,1 y 0,29 USD / pers-km) inferiores a los de un vehículo privado individual.

Valor del tiempo

Como se ha mencionado, el valor del tiempo (VT) equivale al costo de oportunidad del tiempo destinado a un viaje y varía según las características y preferencias de las personas. Se representa como la disposición a pagar de un individuo por una reducción marginal en el tiempo

de viaje, asumiendo que los individuos tienen un tiempo diario limitado que destinar a distintas actividades (Steck, Kolarova, Bahamonde-Birke, Trommer, & Lenz, 2018). Para determinarlo, el instrumento más utilizado es la encuesta de preferencias declaradas, a través de la cual se pueden evaluar escenarios en uno o varios modos de transporte.

El concepto de valor del tiempo está determinado por la noción de (des)utilidad de un viaje, entendiendo que en el grueso de los casos el transporte es una demanda derivada y no un fin en sí mismo. En otras palabras, las personas se desplazan cotidianamente con el objeto de realizar actividades diversas (trabajar, estudiar, divertirse, etc.) y no por el disfrute de viajar, por lo cual el tiempo en viaje se considera en alguna medida perdido. El VT puede variar según el motivo de viaje, siendo más alto en el caso de los viajes al trabajo (Shires & de Jong, 2009); según el modo de transporte utilizado, siendo mayor para los usuarios de automóvil que para los de transporte público (Abrantes & Wardman, 2011) y según el nivel de ingreso de las personas (Wadud, 2017).

Cabe imaginar que la llegada de los VCAs tendrá un impacto en la utilidad de los viajes, lo cual puede afectar eventualmente la elección modal de las personas. Esto puede analizarse con dos enfoques: el de la accesibilidad y el de la utilidad del tiempo en viaje (y la disposición a pagar resultante).

En el caso de las personas que hoy no pueden acceder a la movilidad individual motorizada por limitaciones físicas o cognitivas (niños, adultos mayores, personas con discapacidad), los VCAs pueden representar un gran beneficio en la medida en que mejoren la accesibilidad a servicios, reduzcan el aislamiento y brinden un mayor nivel de independencia a estos grupos específicos (Anderson et al., 2016).

Desde el punto de vista de la utilidad de los VCAs respecto de los vehículos tradicionales, la literatura no ha llegado aún a un consenso. En el costado optimista del abanico de perspectivas sobre el tema, se espera que los niveles de automatización 4 y 5, que implican una liberación del conductor de las tareas de manejo, generen una utilidad positiva del viaje (positive utility of travel: (Mokhtarian & Salomon, 2001)); otros autores son más escépticos al respecto. Cabe aclarar que la noción de utilidad positiva implica cualquier reducción en la desutilidad que involucra viajar (reduciendo el VT) y no necesariamente un VT cero o negativo (que genere viajes per se).

La incertidumbre respecto de las preferencias de los individuos hacia una tecnología en gran medida desconocida requiere construir supuestos. Los estudios de simulación que se han realizado hasta el momento muestran un amplio rango de posible variación del VT (Singleton, 2019). Mientras que unos toman como proxy el VT actual de los usuarios de tren (Gucwa, 2014) o del transporte público (Bansal & Kockelman, 2017), otros toman un valor que va de 0% (hipótesis optimista) a 100% (hipótesis pesimista) del VT de los usuarios de automóvil actual. En general, los autores toman rangos entre 25% y 75% para VCAs nivel 4 o 5 ((Spieser et al., 2014); (Childress, Nichols, Charlton, & Coe, 2015); (Davidson & Spinoulas, 2015); (B. Kim, Pourrahmani, & Fagnant, 2017); (van den Berg & Verhoef, 2016); (Qu, Barrett, Fagnant, Kockelman, & Lamondia, 2016); (Wadud, MacKenzie, & Leiby, 2016), (Auld, Sokolov, & Stephens, 2016)). En una encuesta Delphi, un panel de expertos proyectó una reducción del 10% del VT con la llegada de los VCAs, aunque las respuestas oscilaron entre +/- 50% (Willumsen & Kohli, 2016), lo cual demuestra que no se ha arribado a un consenso acerca de este punto.

Existe evidencia, sin embargo, que las personas estarían dispuestas a pagar menos por una reducción del tiempo de viaje en un VCA respecto de un automóvil tradicional. Kolarova et al. (Steck et al., 2018) relevaron a través de encuestas de preferencias declaradas que el VT de un VCA es

consistentemente menor que el de un vehículo convencional para usuarios de todos los modos de transporte y que la DAP se encuentra fuertemente correlacionada con el nivel de ingreso.

Siguiendo a Singleton (Singleton, 2019), la potencial reducción del valor de tiempo a partir de los VCAs puede tener dos orígenes. Por un lado, la capacidad para realizar otras actividades en viaje o multitasking (dormir, leer, trabajar, ver una serie en el vehículo), que puede volver productivo ese tiempo antes perdido. Por otro lado, la obtención de bienestar subjetivo (subjective well being - SWB según sus siglas en inglés) derivado del disfrute de la experiencia de viajar o de las representaciones asociadas a un determinado modo.

Respecto del multitasking, Malokin et al. (Malokin, Cirkella, & Mokhtarian, 2015) señalan que éste afecta a la elección modal, ya que la posibilidad de realizar actividades en viaje aumenta la utilidad del modo, siendo mayor para el ferrocarril y los viajes compartidos, aunque de manera ostensiblemente más significativa en el caso del ferrocarril. El efecto de la movilidad compartida es también un aspecto a considerar a la hora de evaluar la evolución del VT. Estudios indican que la reducción del VT para un viaje compartido tiende a ser significativamente más modesta que para un viaje en vehículo privado, en torno al 10% ((Steck et al., 2018); (Krueger, Rashidi, & Rose, 2016)).

Es entonces válido preguntarse si la experiencia de viajar en un VCA se parecerá más a la de un acompañante en un automóvil actual o a la de un pasajero de ferrocarril, ya que el confort de este último reside en el rango de aceleración/desaceleración y movimiento lateral, los cuales difieren de aquellos del automóvil (Singleton, 2019). Actualmente dos tercios de la población sufre mareos por movimiento al viajar en automóvil y no es esperable que los VCAs cambien tan drásticamente la experiencia de viajar como para revertir significativamente este hecho (Diels & Bos, 2016). Además, es probable que los dispositivos de seguridad de los automóviles sigan existiendo tras la automatización -al menos hasta que el grueso de la flota sea reemplazado-, limitando la capacidad de realizar múltiples actividades (Sivak & Schoettle, 2016).

En lo que respecta al bienestar subjetivo, se encuentran en pugna dos tendencias. Si el conducir es vivido como un hecho estresante, cabe esperar que liberarse de las tareas de conducción reporte un beneficio en términos de bienestar para el usuario. Si, por el contrario, el conducir está relacionado con una idea de libertad, reafirmación de estatus o cualquier otra connotación positiva, es posible que el beneficio se vea disminuido o incluso se perciba como una desventaja. Es preciso afinar el análisis por tipo de usuario y motivo de viaje a fin de comprender este efecto con mayor profundidad.

En resumen, el efecto de los VCAs sobre el valor del tiempo de viaje es aún incierto, pero cabe esperar que una eventual reducción esté dentro del rango más conservador de las predicciones realizadas hasta el momento.

Impactos de segundo orden

Los impactos de segundo orden son aquellos que se producen como efecto de los cambios en el costo generalizado del viaje y las preferencias asociadas de los usuarios. Por lo tanto conciernen a la forma en la que el advenimiento de los VCAs va a moldear las elecciones de las personas en dos aspectos claves para el sistema de movilidad y las ciudades en general: la elección modal y la elección de localización de individuos y firmas. Estas preferencias condicionan y son condicionadas por el modelo bajo el que los VCAs se desarrollarán, es decir continuando con la propiedad individual o bajo flotas compartidas.



El agregado de estas decisiones individuales afecta la infraestructura existente en dos sentidos. Por un lado, a través de una eficiencia mayor en el uso del espacio y los cambios en las necesidades de estacionamiento que los VCAs posibilitarían. Por otro lado, por el impacto en los vehículo-km recorridos (VKR) en función de cómo la reducción en el costo generalizado podría afectar la cantidad y la longitud de los viajes, y por tanto la sustentabilidad de las ciudades como tales.

Proyectar la evolución de los VKR es una tarea indispensable para comprender el impacto real de los VCAs en las ciudades, pero al mismo tiempo muy difícil de concretar. La cantidad de factores condicionantes -y combinaciones entre ellos- que intervienen en su definición contribuyen a aumentar la incertidumbre. En esta sección se analizarán los principales factores que, dada una baja del costo generalizado del transporte, pueden contribuir a un aumento o disminución de los VKR.

Impactos en la infraestructura

La tecnología VCA, aún en niveles 2 y 3, conlleva importantes potenciales mejoras de capacidad de las vías de circulación, bien sea gracias a una conducción más eficiente (aceleración y frenado), un ajuste automático de la velocidad, una circulación coordinada con el resto de los vehículos, como la disminución resultante de la distancia de seguridad (longitudinal y transversal) entre vehículos habilitados por las comunicaciones V2V y la (casi) desaparición de las perturbaciones debidas a accidentes viales por errores humanos (Fagnant & Kockelman, 2013). Estas mejoras de capacidad se darán de manera distinta según los tipos de vialidades, por ejemplo entre autopistas con control de accesos y arterias más urbanas, donde existen numerosas intersecciones y puntos de conflicto (Klooststra & Roorda, 2016).

Así como lo muestran los repastos de la literatura al respecto por Rodier (Rodier, 2018) y Milakis (Milakis et al., 2017), una flota de VCAs podría permitir duplicar o triplicar la capacidad existente de una vialidad. Es de notar que estas mejoras sustanciales en la capacidad son alcanzables a partir de cierto umbral de penetración de mercado de los sistemas VCA. A modo de ejemplo, Shladover et al. (Shladover, Su, & Lu, 2012) estiman aumentos de capacidad vial del orden de 5%, 25% y 80% para una penetración de mercado de 10%, 50% y 90% de los sistemas de asistencia a la conducción (control de cruce adaptativo, detector de carril y asistente de mantenimiento de carril).

En arterias urbanas, el manejo de las intersecciones se vuelve el factor clave para obtener mejoras de capacidad. Varios estudios citados en Milakis (2017) y Klooststra y Roorda (2017) muestran sustanciales mejoras (del orden de 100%) gracias a sistemas de control de intersección automatizados (y comunicaciones V2I), en conjunto con una flota de VCAs (por ejemplo (Kamal & Imura, 2015), (Goodall, Smith, & Park, 2013)). Asimismo, Lioris et al. (Lioris, Pedarsani, Tascikaraoglu, & Varaiya, 2017) muestran que con una circulación de VCA en pelotón (platooning), la capacidad en intersecciones puede multiplicarse por 2 o 3 en función del intervalo considerado entre vehículos.

No obstante, sin otra intervención, así como lo sugiere la conocida paradoja de Lewis-Mogridge, estas mejoras en la capacidad vial tenderán a inducir un aumento en la demanda de viajes (o en su distancia), es decir un aumento de los vehículo-kilómetros recorridos (VKR). Handy y Boarnet (Handy & Boarnet, 2014) estiman por ejemplo una elasticidad VKR - expansión de capacidad vial entre 0,3 y 0,6 a corto plazo y entre 0,6 y 1 a largo plazo. A su vez, Cervero (Cervero, 2001) encuentra valores similares: entre 0,47 y 1 (promedio 0,74).

Por otra parte, el uso generalizado de VCAs podría reducir notablemente la demanda de estacionamiento. En su versión compartida, una vez alcanzado el destino de una persona, el VCA es redireccionado para atender otro(s) cliente(s). Como mencionan Millard-Ball (Millard-ball, 2019) y Milakis et al. (2017) en sus revisiones bibliográficas, varios estudios indican una reducción de la demanda de estacionamiento en valores de hasta 90% en caso de una migración masiva a VCAs compartidos ((Fagnant & Kockelman, 2014); (OECD - International Transport Forum, 2015); (Zhang, Guhathakurta, Fang, & Zhang, 2015)). Más específicamente, WEF y BCG (World Economic Forum & The Boston Consulting Group, 2018) estiman una reducción de 48% en necesidades de estacionamiento para la ciudad de Boston, impulsada principalmente por una disminución de los viajes en vehículos privados individuales.

Justamente, en su versión privada individual, tras dejar en destino el pasajero, Millard-Ball (2019) identifica tres estrategias adoptables con el fin de minimizar el costo de estacionamiento:

1. Ubicarse en un espacio de estacionamiento poco costoso, en general en zonas más periféricas
2. Regresar a su estacionamiento residencial o personal,
3. Realizar recorridos en vacío hasta volver a atender un viaje del pasajero.

En estos tres casos de figura aparecen recorridos (VKR) adicionales: algunos en vacío, fruto de alguna de las tres estrategias mencionadas, otros con pasajeros por un efecto de demanda inducida impulsado por la baja del costo de estacionamiento (y por ende del costo generalizado de viaje). Millard-Ball (2019) modela estas tres estrategias para el caso de San Francisco y estima:

- que la estrategia privilegiada (para dos tercios de los vehículos que no benefician de estacionamiento gratuito en destino) - ya que menos costosa - en ausencia de políticas de cargos por congestión, es la de viajar en vacío, a velocidad baja hasta volver a atender al pasajero salvo en casos donde el estacionamiento residencial o gratuito es relativamente cercano al destino del pasajero.
- un aumento de 98% de los viajes hacia los centros urbanos y de 8% adicionales por viajes en vacío.

Adicionalmente, en términos de espacio, las tecnologías a bordo de los VCA permitirían una mayor maniobrabilidad y un mejor uso del espacio para estacionamiento (Nourinejad, Bahrami, & Roorda, 2018).

¿Propiedad individual o movilidad compartida?

A pesar de la incertidumbre sobre los efectos que tendrán las distintas disrupciones tecnológicas en el campo de la movilidad urbana, existe un consenso generalizado sobre que la automatización vehicular será una realidad. Sin embargo, no está claro si el desarrollo de los VCAs será bajo el modelo tradicional de propiedad individual o bajo el modelo de flotas compartidas.

Si bien la modificación de costos implicados por los VCAs (ver sección “Impactos de primer orden”) revolucionará el escenario actual, cabe observar cuál ha sido el desarrollo de la movilidad compartida y sus efectos hasta el momento.

Los servicios de movilidad compartida han crecido exponencialmente en las últimas décadas debido a la generalización de los aplicativos móviles, amigables con el usuario y eficientes desde el punto de vista de la coordinación de mercado. Sin embargo, la evolución de los viajes compartidos ha sido ostensiblemente más dinámica. En 2017 el volumen a nivel global de usuarios de viajes compartidos (ridesharing) superó los 250 millones, mientras que los usuarios de automóviles compartidos (carsharing) alcanzaron apenas los 5 millones (Clewlow & Mishra, 2017).

La literatura para Estados Unidos indica que un auto compartido en modalidad punto a punto puede reemplazar entre 7 y 11 automóviles de propiedad individual (Martin & Shaheen, 2016). Asimismo, estos servicios son más frecuentes en los sectores urbanos de alta densidad, donde existen mayores restricciones para tener un vehículo y el transporte público es más eficiente (A. Cohen, Davis, Adam, & Berkeley, 2008). En términos de impacto en el reparto modal, estos servicios han producido una leve disminución en el uso de transporte público y del vehículo particular, así como un aumento de la caminata y los viajes en bicicleta (Khan y Machemehl en (Nguyen & Boundy, 2017)). Existe evidencia, por otra parte, de que los usuarios de autos compartidos disminuyen su costo de transporte y nivel de emisiones (Chen & Kockelman, n.d.), así como la propiedad de automóviles particulares (Becker & Axhausen, 2017). Sin embargo, el impacto global respecto de los VKR es aún incierto. Mientras algunos estudios indican que los autos compartidos pueden contribuir a reducir los VKR, otros cuestionan la capacidad de estos servicios de modificar sustancialmente el nivel de propiedad vehicular y destacan el efecto negativo sobre el transporte público (Ferrero, Perboli, Rosano, & Vesco, 2018).

Respecto de los viajes compartidos, el potencial de estos servicios para reducir el volumen de la flota vehicular actual podría ser muy significativo. Spieser et al. (Spieser et al., 2014) encontraron a través de simulación en Singapur que un tercio de los vehículos actuales bastarían para satisfacer las demandas de movilidad si se adoptara la modalidad compartida. A su vez, Fagnant y Kockelman (2014) estimaron que un vehículo compartido podría reemplazar entre 9 y 13 vehículos particulares en un contexto urbano. Este es un punto central para evaluar los impactos de los VCAs, ya que en caso de darse bajo un esquema de flotas compartidas, se lograría una reducción sustancial del espacio ineficientemente destinado a estacionamiento. En efecto, hoy un automóvil suele estar sin utilizarse un 95% del tiempo (Shoup, 2009), aunque también podría generar un aumento en los VKR por una mayor circulación en vacío (ver sección “Impactos en la Infraestructura”).

En cuanto al efecto de la movilidad compartida en los patrones de viaje, un estudio sobre grandes ciudades de Estados Unidos (Clewlow & Mishra, 2017) indica que la disponibilidad de estos servicios ha provocado una disminución del 6% en el uso del bus y del 3% en la utilización de trenes ligeros, aunque ha aumentado en un 3% el uso del tren suburbano. Estos valores indican una potencial complementariedad de la movilidad compartida como solución de última milla con modos de alta capacidad y una competencia con modos de menor capacidad. Respecto de los modos activos, se indica una baja del 2% en el uso de bicicleta y un aumento del 9% de la caminata. Algunos estudios indagaron el modo con el cual se realizarían los viajes actualmente servidos por ERTs en caso de que estas no estuvieran disponibles. Shaheen et al. (Shaheen, Totte, & Stocker, 2018) condensan estos resultados en la siguiente tabla, donde se puede apreciar que el efecto de la movilidad compartida es en gran medida variable en virtud de las características de la ciudad en cuestión. Cabe esperar que, ante la llegada de los VCAs, ciudades con sistemas de movilidad disímiles no sigan una trayectoria homogénea.

Tabla 3 Modo en que se realizarían los viajes de ERTs si no estuvieran disponibles.

Autores	Rayle et al.	Henao	Clewlow y Mishra	Feigon y Murphy	Hampshire et al.
Ciudad	San Francisco, CA	Denver - Boulder, CO	7 ciudades en EEUU	7 ciudades en EEUU	Austin, TX
Año	2016	2016	Dos fases (2014-2016)	2016	2016
Modo					
Auto (%)	7	33	39	34	45
Transporte público (%)	30	22	15	14	3
Taxi (%)	36	10	1	8	2
Bicicleta o caminata (%)	9	12	23	17	2
No habría hecho el viaje (%)	8	12	22	1	-
Autos compartidos / alquilados (%)	-	4	-	24	4
Otro / Viajes compartidos (%)	10	7	-	-	42 (ERT) 2 (otro)

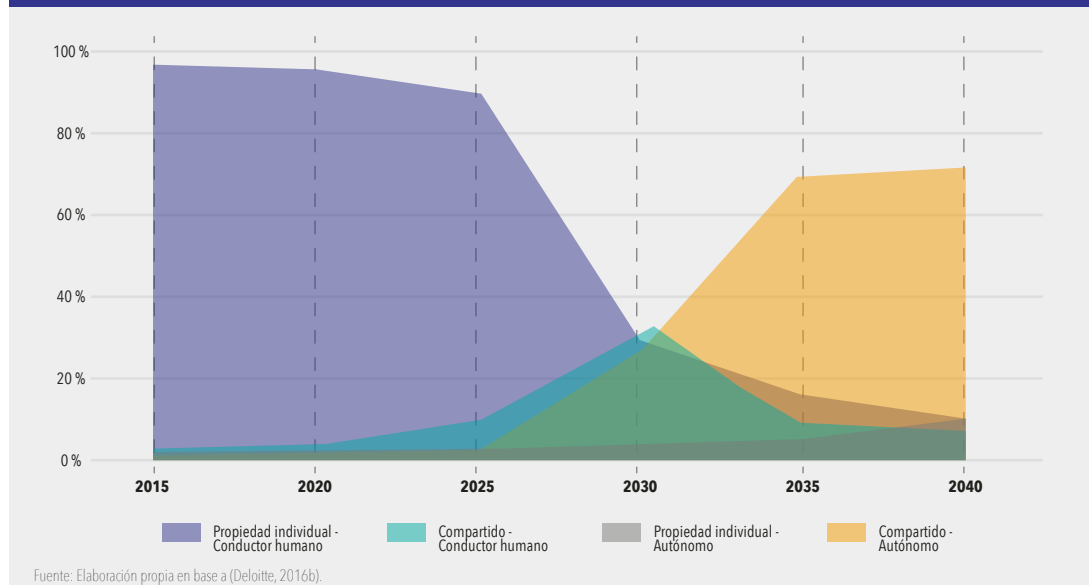
Fuente: Elaboración propia en base a (Shaheen et al., 2018)

En lo que concierne a las características de los usuarios de movilidad compartida, éstos suelen ser frecuentemente jóvenes y de nivel socioeconómico medio y alto y concentrarse en las grandes ciudades (Schaller, 2018). Respecto del factor etario, la generación “millennial” observa un comportamiento menos orientado a la movilidad individual (tiene menos automóviles y obtiene su licencia de conducir con menos frecuencia o a edad más avanzada) que la generación anterior y más proclive a las nuevas moviidades, siendo sus VKR menores como resultado (Circella et al., 2017). Si bien la evolución de la movilidad compartida - sobre todo ante la llegada de los VCAs - es incierta, cabe conjeturar que el factor generacional pueda acelerar la aceptación de modelos alternativos al de la propiedad para migrar hacia un concepto del automóvil como un servicio. Asimismo, el motivo de viaje parece ser un aspecto central de las preferencias modales: Choudhury et al. (Choudhury, Yang, Abreu, & Ben-akiva, 2017) encontraron que la movilidad compartida (tanto vehículos como viajes compartidos) resulta una opción más atractiva para viajes esporádicos, mientras que para los viajes diarios (*commute*) las opciones de transporte público tradicional continúan siendo más elegidas.

La evolución de la movilidad compartida es un insumo importante para proyectar el despliegue de los VCAs, aunque todavía resulta complejo realizar predicciones en este sentido. Diversas estimaciones indican que los VCAs compartidos podrían reemplazar entre el 67% y el 90% de los vehículos convencionales, según el grado de penetración y la infraestructura de transporte existente (Milakis et al., 2017). En virtud de los cambios ya en marcha sobre la noción de propiedad y el diferencial de costos, varios autores han sugerido que los VCAs se generalizarán mayoritariamente a través de flotas compartidas ((Firnkorin & Müller, 2015); (Johnson & Walker, 2016); (Litman, 2017)). Arbib y Seba (Arbib & Seba, 2017) han llegado a sugerir, en un escenario tal vez demasiado optimista, que el 95% de los VKR en Estados Unidos serán

realizados en VCAs compartidos hacia 2030. Según Deloitte (Deloitte, 2016b), la proporción esperada de vehículos tradicionales de propiedad individual respecto del parque automotor en Estados Unidos tenderá a caer drásticamente hasta ser un elemento residual del sistema de movilidad en 2040.

Figura 15. Proyección de la evolución de la automatización vehicular y la movilidad compartida (2015-2040).



Sin embargo, existen opiniones contrastantes respecto de esta evolución. Gordon et al. (Gordon et al., 2018) sugieren que los VCAs compartidos tendrán un efecto de sustitución en un primer momento, pero luego los motivos que justifican la propiedad hoy prevalecerán en el largo plazo. En este sentido, el declive de la propiedad dependería más de las prestaciones de otros modos de transporte y del nivel de ingreso (usuarios cautivos) que de la elección de los VCAs compartidos por sobre la propiedad individual por el diferencial en costo.

Además, la economía del comportamiento ha demostrado que las elecciones de los consumidores no están guiadas siempre por la racionalidad del homo oeconomicus, sino que también están atravesadas por sesgos cognitivos. En la elección sobre movilidad compartida pueden intervenir cuatro sesgos (Deloitte, 2017):

- la aversión a la pérdida, sobrevalorando la pérdida y subestimando las posibles ganancias;
- el efecto dotación, sobrevalorando lo que ya se tiene;
- el sesgo de statu quo, sobrevalorando la situación actual por sobre sus alternativas;
- el cálculo erróneo de riesgo; sobredimensionando el riesgo de resultados desconocidos y temidos.

Según cómo operen estos sesgos en combinación con los argumentos racionales de costos y beneficios, y cuán exitosos sean la política pública y la industria para presentar ambas opciones teniendo en cuenta estos sesgos, los usuarios podrán realizar elecciones que hoy resulta difícil predecir con exactitud.

Dada la falta de consenso (tanto en la literatura como en el panel de expertos) acerca del modelo dominante de despliegue de los VCAs, en la sección de impactos en las ciudades latinoamericanas que se desarrollará más adelante, se decidió mantener ambos modelos (propiedad individual y movilidad compartida) como escenarios posibles.

Elección de localización

Otra pregunta clave vinculada a la aparición de los VCAs es la de su consecuencia sobre la forma urbana, en este caso entendida como expansión urbana (lo relativo a infraestructura ha sido tratado anteriormente).

La expansión urbana, difusa en primer lugar, es un proceso que muchas ciudades del mundo padecen y tratan de mitigar, desarrollando estrategias anti-sprawl. Estas se consideran clave para mitigar las consecuencias sociales, ambientales y económicas de la expansión no controlada ((Bruegman, 2006) y (Jenks, Burton, & Williams, 1996) entre otros). En efecto, significa la pérdida de suelo productivo y un aumento del consumo energético asociado a la dependencia del uso de vehículos privados y a la construcción de extensas redes de infraestructura.

En las grandes ciudades de América Latina, tal como se pudo observar en el apartado correspondiente, la expansión urbana es un proceso muy presente. Una de las grandes explicaciones, además de por ejemplo el precio de la tierra y de la vivienda, es el rol del transporte y el uso del vehículo individual, reconociendo la influencia del transporte sobre los usos del suelo y la forma urbana. Numerosos estudios vinculan la forma de las ciudades de Estados Unidos con los niveles de industrialización y sobre todo la adopción masiva del automóvil particular como modo de transporte principal (por ejemplo (Muller, 2004)).

Más específicamente, y además del rol estructurador de las infraestructuras viales sobre el crecimiento de las ciudades (ver por ejemplo Giuliano, 2004, (Boarnet & Haughwout, 2000), (Boarnet & Chalermpong, 2001) y Vasconcellos, 2005), la relación entre los niveles de accesibilidad, el costo generalizado del viaje y el territorio, también ampliamente documentada, se ilustra por ejemplo en los trabajos siguientes:

- Marchetti (Marchetti, 1994), a partir del trabajo de Yacov Zahavi, propone un análisis del impacto de los tiempos de viaje sobre decisiones relativas a elección de lugar de residencia y por ende expansión urbana y muestra que las personas están dispuestas a dedicar sistemáticamente alrededor de una hora para sus viajes diarios, ajustando entonces su localización residencial en función de esta constante. Angel y Blei (Angel & Blei, 2015a) confirman un valor de aproximadamente 30 minutos para 40 ciudades de Estados Unidos en el año 2000. De la misma manera, para el caso de Gran Bretaña, Metz (David, 2008) confirma las conclusiones de Marchetti mostrando que ante mejoras en los sistemas de transporte los usuarios “reinvierten” sistemáticamente este ahorro de tiempo en viajes más largos, modificando su localización.
- Para el caso de Buenos Aires, Peralta Quirós y Mehndiratta (Quirós & Mehndiratta, 2015) y Avner et al (Avner, Mehndiratta, Viguié, & Hallegatte, 2017) analizan los patrones de crecimiento de Buenos Aires (tanto de expansión como densidad) a la luz de los niveles de accesibilidad (entendidos como costo generalizado y permitidos por los sistemas de transporte). Asimismo, Guerra et al. (Guerra, Caudillo, Goytia, Quiros, & Rodriguez, 2018) verifican la relación entre los gastos de los hogares en movilidad y la forma urbana, aproximada por densidad poblacional, accesibilidad laboral (cantidad de empleos alcanzables en un tiempo determinado de viaje), distancia al centro (CBD), diversidad de usos del suelo y densidad (concentración) de intersecciones (viales).

Esta relación es precisamente la que -ante los impactos de primer orden presentados anteriormente- podría conocer una importante evolución con el advenimiento de los VCAs y derivar en impactos en las elecciones de localización y los usos del suelo. Efectivamente, menores costos operativos, un menor tiempo (valorado) de viaje, y en definitiva un menor costo generalizado de viaje, podrían tener un impacto en los niveles de accesibilidad y a través de ello sobre las decisiones de localización de las personas y de las firmas ((Milakis et al., 2017), (J. Meyer, Becker, Bösch, & Axhausen, 2017)). Si bien la evolución de la relación transporte - forma urbana ante la automatización de la conducción vehicular es aún un tema poco estudiado, algunos trabajos provenientes esencialmente de Estados Unidos o Europa aportan diversos elementos para el análisis. Aquellos que se concentran en los impactos de los VCAs privados, suelen encontrar que una generalización del uso de estos vehículos, en los niveles 4 y 5, implica una mejora de la accesibilidad y un aumento de la población hacia los suburbios y las regiones rurales bien conectadas en detrimento de los centros urbanos (Soteropoulos, Berger, & Ciari, 2019).

Varios estudios analizan la propensión de relocalización a partir de encuestas de preferencias declaradas con resultados que no sugieren modificaciones masivas en cuanto a las elecciones de localización de personas (por ejemplo (Zmud, Sener, & Wagner, 2016) y (Bansal et al., 2016)) pero sí permiten identificar algunas características de los grupos más proclives a relocalizarse. Por ejemplo Bansal, Kockelman y Singh (Bansal et al., 2016) encontraron, para el caso de Austin (Texas, USA), que el 74% de las personas no considerarían una relocalización. No obstante encuentran que las personas con mayor número de hijos, que ya viven lejos de su lugar de trabajo y conducen solos, son proclives a relocalizarse más lejos del centro de la ciudad. Los autores sugieren que estas personas son más sensibles a los menores precios de suelo en los suburbios y cómodos en el uso de su tiempo de viaje con otras actividades. En contraste, también encuentran que los hombres que trabajan a tiempo completo, de hogares con ingresos altos y con altos valores actuales de VKR tenderían a localizarse más cerca del centro de la ciudad, beneficiándose quizás de los nuevos servicios de VCAs compartidas más baratos. Por otra parte, Lavasani et al. (Lavasani, Asgari, Jin, & Pinjari, 2017) analizan en Florida (USA) la disponibilidad a relocalizar la residencia y encuentran que ésta es mayor para hombres y hogares de bajos ingresos, pero factores como el tamaño del hogar la afectan a la baja. Sin embargo, es claro que, ante la falta de experiencia directa con un VCA, las personas se imaginen cambios drásticos en su movilidad cotidiana, por lo cual los resultados podrían estar subestimados (Becker & Axhausen, 2017).

Otros trabajos, elaborados sobre la base de modelos agregados o de agente, estiman impactos en función de distintos escenarios de mayor o menor presencia de modos compartidos y encuentran valores que podrían marcar la amplitud de los efectos esperables. Por ejemplo, para escenarios basados en vehículos privados y suponiendo un aumento de los VKR, Thakur et al. (Thakur, Kinghorn, & Grace, 2016), estiman una reducción de población del 4% en zonas centrales de la ciudad y un aumento de 3% en los suburbios más alejados para el caso de Melbourne (Australia). De la misma manera, Gelauff et al. (Gelauff, Ossokina, & Teulings, 2017) estiman para Holanda que la automatización de la conducción en vehículos privados conlleva importantes efectos de suburbanización y de relocalización hacia zonas no urbanas (aumento de 1%) en detrimento de las ciudades más importantes (disminución de hasta 2%). Childress et al. (Childress et al., 2015) arriban a conclusiones similares para la región de Seattle (USA) donde evalúan que las mayores mejoras de accesibilidad se dan en las zonas más rurales, arrastrando un aumento considerable de VKR en ellas (hasta del orden de 30%).

En cambio, los resultados basados en escenarios con predominancia de flotas de VCAs compartidos son variados y a veces contrarios en función del VT considerado: el análisis de Thakur

et al. (2018) indica un repoblamiento de las áreas centrales y suburbanas más cercanas, mientras que Zhang (Zhang, 2017) sugiere que algunos grupos demográficos (personas mayores) tenderían a acercarse al centro a la vez que otros (más jóvenes) tenderán a alejarse. Asimismo, según Gelauff et al. (2017), un escenario de automatización del transporte público podría permitir atraer población a las áreas más urbanizadas y una combinación de las dos tendencias resultaría en una relocalización de la población desde ciudades pequeñas aisladas hacia las partes más urbanizadas del país.

Finalmente, la “liberación” de superficies actualmente dedicadas al estacionamiento (ver apartado anterior correspondiente) podría permitir una densificación en las zonas más urbanizadas y centrales y por ende una relocalización hacia estas zonas (Zakharenko, n.d.).

Cabe mencionar que los resultados presentados por los distintos estudios prospectivos dependen fuertemente de las (numerosas) hipótesis consideradas en cuanto a VT, porcentaje de viajes realizados en vehículos privados, compartidos o en transporte público, así como la evolución de la demanda inducida.

Sistema de movilidad

La elección modal³ refiere a la decisión de un usuario de un sistema de movilidad sobre cuál modo de transporte utilizar para ir del punto A al punto B. El agregado de estas decisiones individuales compone el reparto modal, un indicador clave para evaluar la sustentabilidad de un sistema de movilidad. De forma genérica, cuanto mayor es la proporción de modos activos y transporte público, más eficiente y sustentable es una ciudad.

La elección modal está condicionada por una serie de factores, que se pueden categorizar en instrumentales y no instrumentales (Steg, Vlek, & Slotegraaf, 2001). Los factores instrumentales tienen que ver con la conveniencia de utilizar un modo de transporte en función de las características del viaje (longitud, motivo, momento del día), las características del modo elegido y sus alternativas (confiabilidad, seguridad, confort, costo), y las características de la persona (nivel de ingreso, género, grupo etario). Los factores no instrumentales son de índole simbólico-afectivos, ligados al placer de conducir -y la sensación de control y libertad que suscita- y al estatus social al que remite cada alternativa de movilidad (Steg, 2005).

Los VCAs, como se ha descrito en la sección anterior, modificarán el costo generalizado del transporte, y se espera que en virtud de ello tengan un efecto sobre la elección modal de las personas. La preocupación surge a partir de la hipótesis de que, ceteris paribus, el automóvil particular en su versión automatizada se volverá más atractivo y económico que los modos más sostenibles (modos activos y transporte público). El aumento del uso del automóvil (VKR) puede darse bajo tres modalidades:

- Incentivos a realizar viajes más largos, modificando los puntos de origen y destino.
- Incentivos a realizar nuevos viajes, por motivos latentes y una mejor accesibilidad.
- Incentivos a cambiar de modo en viajes existentes.

3. El concepto de elección modal ha sido cuestionado por sesgar hacia la decisión racional el entendimiento del comportamiento de las personas en lo atinente a la movilidad. Se ha probado que existen restricciones de tipo financiero, cultural, de localización y género que constriñen de antemano la elección como acto libre (Levy, 2013). Este concepto no señala adecuadamente las creencias y limitantes (Hausman, 2011) que llevan a una persona a “elegir” uno u otro modo de transporte, en la medida en que las preferencias están condicionadas por el contexto, como indica Amartya Sen (1984) con su concepto de preferencias adaptativas. La utilización de este concepto por conveniencia expositiva no ignora sus limitaciones.

- Viajes por relocalización (recorridos en vacío)

La primera modalidad tiene que ver con la elección de localización, que es resultado de una relación entre los costos del suelo y los de transporte. Conforme se reduce el costo del transporte, más incentivos existen a localizarse más lejos de los centros densos. Este presupuesto básico de la economía urbana podría tener un efecto en la longitud de los viajes en automóvil, contribuyendo a un aumento en los VKR. No obstante, la revisión realizada sugiere la necesidad de considerar distintos escenarios de relocalización en particular en función de la evolución de repartos modales, de los niveles actuales de accesibilidad de las ciudades (y por ende de la oferta existente de transporte público y su evolución) y del VT resultante de los niveles más altos de automatización.

La segunda modalidad se relaciona con la demanda latente de movilidad, la cual no se registra en las encuestas de origen-destino y constituye un aspecto central del estudio de la accesibilidad (Levy, 2013). Se trata de viajes que las personas desean pero no pueden hacer, ya sea por ausencia de alternativas de transporte adecuadas, por problemas de asequibilidad, por inaccesibilidad física o por las diversas limitantes que afectan a los grupos sociales. Esta categoría incluye tanto a los nuevos usuarios (personas que no viajaban y ahora pueden) y a los usuarios que realizan nuevos viajes (demanda inducida a partir de la disponibilidad de un nuevo modo).

En este sentido, la automatización vehicular tiene un potencial insoslayable. Aportará la flexibilidad del automóvil a un costo menos privativo (sobre todo en modalidad compartida), mejorando así la capilaridad y la asequibilidad del transporte donde los modos masivos no son eficientes. Incluso reducirá los costos del transporte público en la medida en que se elimine el costo del conductor. Además, brindará movilidad a aquellos grupos que por razones físicas, cognitivas o de otra índole no pueden conducir un vehículo. Harper et al. (Harper, Hendrickson, & Samaras, 2016) estiman una suba potencial del 14% de los VKR por los desplazamientos de las poblaciones que hoy no se encuentran servidas, mientras Brown et al. proyectan un aumento del 40% (citado en (Raposo M. et al., 2018)).

Estos efectos virtuosos sobre la accesibilidad del sistema de transporte justifican el incentivo a la automatización, ya que una mayor movilidad se relaciona con un mayor bienestar subjetivo ((Stanley & Vella-Brodrick, 2009); (Rodríguez Tourón, 2019)). Sin embargo, será necesario balancear los objetivos de accesibilidad con los objetivos de sustentabilidad a fin de no generar un aumento irracional de los VKR.

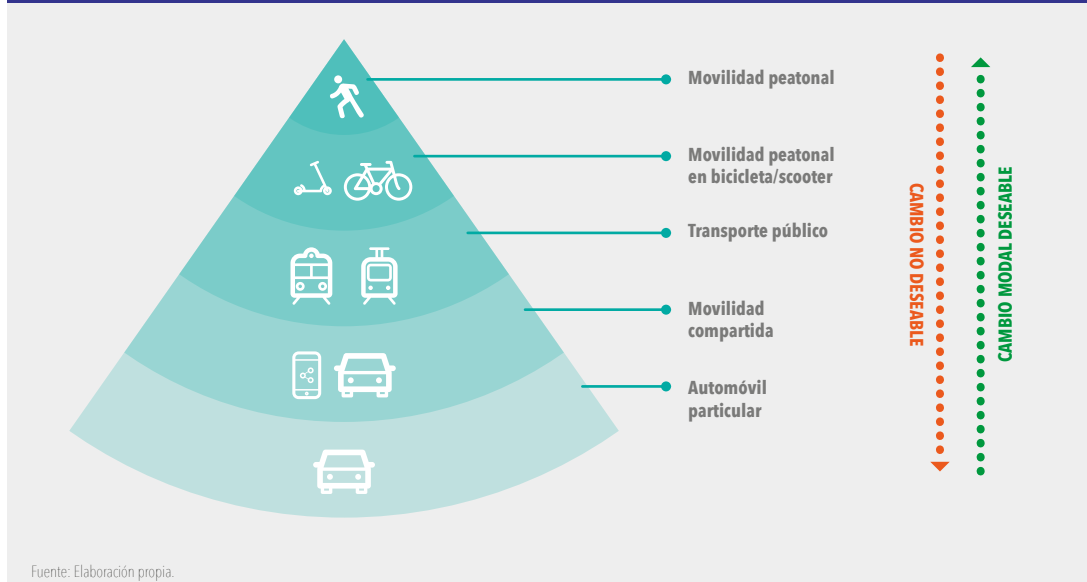
La tercera modalidad es, junto con la longitud de los viajes, la que más efectos negativos puede acarrear en términos del sistema en su conjunto. El cambio modal es la acción de elegir otro modo de transporte que no es el habitual y puede deberse tanto a cambios en la oferta (mejora del transporte público, construcción de una autopista, habilitación de una red de ciclovías, entre otros) como a cambios en la demanda (aumento/disminución de la DAP, desarrollo de una conciencia ambiental, etc.).

Cuando un usuario decide migrar del automóvil particular a cualquier otro modo, se puede hablar de un cambio virtuoso, ya que la eficiencia de ese viaje en términos de emisiones y ocupación de espacio mejorará. Por el contrario, cuando decide abandonar un modo activo por uno motorizado o unopúblico por uno privado, estamos ante un cambio no deseable⁴,

4. Desde ya que existen excepciones a esta afirmación, puntualmente cuando el modo de origen se sostiene a partir de una demanda cautiva, es decir cuando el modo "elegido" no se adecua a las características del viaje, por ejemplo las personas que deben caminar distancias excesivamente largas por no acceder a un transporte público.

como se observa en la figura a continuación. Observar la dirección del cambio es entonces clave para comprender cuáles (des)incentivar.

Figura 16. Jerarquía modal.



El efecto de los VCAs sobre el costo generalizado representará un incentivo mayor a elegir los modos motorizados por sobre los activos, así como a elegir el transporte individual sobre el transporte público, ya que estas opciones se harán considerablemente más económicas respecto de los vehículos tradicionales. En general, los estudios que involucran modelaciones tienden a coincidir en que los VCAs producirán una disminución del uso de los modos activos en un rango que oscila entre el 20% y el 31% y del transporte público entre un 2,2% y un 17% (Soteropoulos et al., 2019).

Respecto del transporte público, existen sin embargo dos tendencias. Por un lado, es posible que la automatización en su modalidad compartida (con un costo aún menor que en el modelo de propiedad individual) se presente como una opción competitiva y le quite pasajeros a los modos de menor capacidad (Barcham, 2014). Si bien actualmente la movilidad compartida puede considerarse hasta cierto punto complementaria con el transporte público (APTA, 2016), el acercamiento de los costos de un viaje compartido con otras personas a los costos del transporte público puede modificar la magnitud del impacto (Blas, Massin, Uranga, et al., 2018). Por otro lado, puede potenciar el transporte masivo a partir de facilitar el viaje de última milla y aumentar la participación de modos como el metro y el ferrocarril (Clewlow & Mishra, 2017). En este punto los resultados de la encuesta Delphi son coincidentes, ya que el panel de expertos entiende que el bus será el modo de transporte público más afectado por los VCAs. Respecto de los modos activos, el abaratamiento de los modos no motorizados puede también generar incentivos al cambio modal. Es probable que ese efecto sea más significativo en viajes cautivos, es decir en viajes que por ausencia de un modo de transporte alternativo y asequible se realizan caminando o en bicicleta.

Un estudio para Buenos Aires (Agosta, Blas, Massin, & Rodríguez, 2018) brinda algunas pistas. El 25% de los peatones de esta ciudad declara que camina porque no tienen otra opción y un 20% por el costo de otras alternativas; es decir que un 45% de los peatones son susceptibles

de cambiar de modo. Cuando se les preguntó por la posibilidad de migrar hacia un VCA, un 62,7% consideró hacerlo con algún nivel de descuento (se tomó un valor referencial del -20%, -50% y -80% respecto del precio actual del taxi). Respecto de los usuarios de bus, un 58% adujo no tener otra opción y un 15% se refirió al costo, sumando un 73% de usuarios. Luego de los peatones, el bus es el modo que más predisposición evidencia a utilizar un VCA con una disminución sustantiva del costo (55% cambiarían). Entre los ciclistas, un 39% hizo referencia al costo y un 15% a no tener otra opción como motivos de elección del modo actual, con lo cual un 54% indicó algún nivel de cautividad. En este grupo de usuarios, un 46% se mostró abierto a cambiar la bicicleta por un VCA. Por su parte, los usuarios de metro/tren y automóvil particular se mostraron comparativamente menos ávidos a cambiar su modo actual (44%). Al justificar su elección modal, los primeros hicieron mayoritariamente referencia a la velocidad (58%) y los segundos al confort (38%) y a la velocidad (20%).

Tabla 4 Disposición a migrar hacia un VCA según nivel de descuento y modo de proveniencia.

Elección modal para la actividad principal	Nivel de descuento que podría hacer migrar una persona hacia un VCA				
	Sin descuento	20%	50%	80%	Total
Caminata	62	51	27	26	166
	37,3%	30,7%	16,3%	15,7%	100%
Bicicleta	22	6	6	7	41
	53,7%	14,6%	14,6%	17,1%	100%
Bus	230	64	113	109	516
	44,6%	12,4%	21,9%	21,1%	100%
Metro / Tren	58	9	17	20	104
	55,8%	8,7%	16,3%	19,2%	100%
Auto	87	20	36	12	155
	56,1%	12,9%	23,2%	7,7%	100%
Moto	4	2	1	4	11
	36,4%	18,2%	9,1%	36,4%	100%
Total	463	152	200	178	993
	46,6%	15,3%	20,1%	17,9%	100%

Fuente: (Agosta et al., 2018)

Estos resultados, si bien acotados a una ciudad, tienen interés porque son los únicos de su tipo en la región y encienden una luz de alerta en relación con la evolución del reparto modal luego de la llegada de los VCAs. No solo todos los usuarios del sistema demuestran una amplia proclividad a migrar hacia la movilidad individual, sino que los más proclives son aquellos que hoy eligen modos sostenibles. Sin embargo, estos datos dan también indicios de cuáles son los aspectos del sistema de movilidad que podrían evitar cambios modales no deseables: la velocidad y el confort en el transporte público parecen ser aspectos centrales.

Por último, los VKR podrán aumentar en virtud de la posibilidad de los VCAs para relocalizarse en ausencia de un conductor. Dado que el estacionamiento en las zonas atractoras (centros de negocios, salud, comerciales, entretenimiento) suele ser difícil de encontrar o resulta oneroso, es probable que los usuarios particulares de VCAs envíen sus vehículos a estacionar en zonas alejadas y las ERTs hagan circular sus vehículos entre un pasajero y el siguiente. Esto

representa una oportunidad en términos de liberación de espacio urbano hoy dedicado a estacionamiento del 67% al 94% ((Zhang & Guhathakurta, 2017); (Viegas, Martínez, Crist, & Masterson, 2016)).

Sin embargo, se podrán generar km recorridos en vacío con gran impacto en emisiones y ocupación de la vía. Existen varias estimaciones en la literatura acerca de la posible magnitud de este fenómeno. En un escenario de propiedad individual, Levin y Boyles (Levin & Boyles, 2015) encontraron que los km en vacío podrían representar un 83% de los VKR y de Alameidia Correia and van Arem (Correia & van Arem, 2017) estimaron que podrían oscilar entre un 10% y un 87% en función de qué nivel de precios se establezca para estacionar. En un escenario de flotas compartidas, Bischoff y Maciejewski (Bischoff & Maciejewski, 2016) encontraron que los viajes de relocalización pueden oscilar entre el 13 y el 20% de los VKR y Chen y Kockelman (Chen, Kockelman, & Hanna, 2016) entre 7 y 9%.

En resumen, existen tendencias diversas que pueden modificar los VKR y presionar por tanto la infraestructura de movilidad existente. Un punto a tener en cuenta, sin embargo, es que por más agradable (o incluso productiva) que sea la opción de viajar en un VCA, la capacidad de un individuo de estar en movimiento tiene un nivel de saturación. Incluso si predijéramos una situación de crecimiento económico (el nivel de PIB está correlacionado con la tasa de motorización), otros factores son también significativos a la hora de explicar la elección modal, notablemente la infraestructura disponible y la dispersión espacial (Ecola et al., 2014).

En efecto, la literatura existente da cuenta de ello a partir de la dispersión que se observa en los ejercicios de modelación. Como se observa en la siguiente tabla resumen, en función de la ciudad, el modelo de propiedad y los parámetros que se consideren, los valores pueden oscilar entre -4% y +325,6%.

Tabla 6 Resumen de hallazgos sobre posibles impactos en los VKR.

Referencia	Lugar	Prop. individual / Mov. compartida	Parámetros			Variación total VKR
			Valor del Tiempo	Capacidad Vial	Estacionamiento	
(Thakur et al., 2016)	Melbourne, AU	100% PI	50%			30% +
Childress et al. 2014	Seattle, WA	100% PI	65% (ingreso alto)	30% +		3,6% +
			65%	30% +	50% -	5% +
				30% +		19,6% +
(Childress et al., 2015)		100% VCA compartido a 0,85 USD / milla				35% -
(Gucwa, 2014)	San Francisco, CA	100% PI		100% +		2% +
			50%	100% +		7,9% +
(Auld et al., 2016)	Ann Arbor, MI	20% PI	25%	3% +		1,6% +
		20% PI	75%	3% +		7,1% +
		75% PI	25%	12% +		3,2% +
		75% PI	75%	12% +		15,9% +
		100% PI	25%	77% +		4,5% +
		100% PI	75%	77% +		30,1% +

Tabla 6 Resumen de hallazgos sobre posibles impactos en los VKR.

Referencia	Lugar	Prop. individual / Mov. compartida	Parámetros			Variación total VKR
			Valor del Tiempo	Capacidad Vial	Estacionamiento	
(Correia & van Arem, 2017)	Delft, Netherlands	100% PI	50%			49,4% +
					Pago 100%	325,6% +
					Gratis 100%	20,9% +
					Periférico Gratis	142,6% +
			50%		Periférico Gratis	109,3% +
Kim et al., 2015	Atlanta, US	100% PI		50% +		4% +
			50%	50% +	100% -	24% +
(Chen et al., 2016)	Austin, TX	Taxi eléctrico a 0,85 USD / milla	25%			29% +
			35%			20% +
			50%			4% -
		0,75 USD/milla	35%			35% +
		1 USD/milla	35%			3% -
Hörl et al., 2016	Sioux Falls, US	VCA compartido a 0,85 USD / milla	35%			60% +
(Viegas et al., 2016)	Lisboa, Portugal	100% VCA compartido				25 a 29% -
Llorca et al., 2017	Munich, Alemania	20% VCA compartido				5% +
		40% VCA compartido				7% +
Boesch et al., 2018	Zug, Suiza		62% PI / 46% compartidos			16% +
Levin et al., 2017	Austin, TX	100% VCA compartido				
Friedrich y Hartl, 2017	Stuttgart, Alemania	100% VCA compartido				18 a 39% +
Bangemann, 2017	Munich, Alemania	100% VCA compartido				14% +

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodier, 2018 y Soteropoulos et al., 2019



Impactos de tercer orden

Los impactos de tercer orden son el resultado de las distintas combinaciones posibles entre los impactos de segundo orden. Las decisiones de localización, elección modal, el modelo de despliegue de los VCAs y sus impactos en la infraestructura de transporte tienen efectos a nivel agregado, es decir sobre el conjunto de la sociedad.

Este tercer nivel es el que comporta un mayor nivel de incertidumbre, ya que es resultado de una serie de impactos condicionales cuya dirección e intensidad, como se ha visto en la sección anterior, aún no están claras. Sin embargo, existen algunos indicios en la literatura que permiten vislumbrar tendencias, oportunidades y amenazas que podrían implicar los VCAs en el futuro.

En esta sección se revisarán los aspectos centrales sobre los que podría impactar la automatización vehicular: seguridad vial, salud, contaminación, equidad y competitividad. Dada la criticidad de estas temáticas en un contexto de cambio climático, de alta siniestralidad y afectación de la salud a nivel global, y de accesibilidad limitada y pobreza urbana sobre todo en ciudades emergentes, este análisis resulta clave para detectar los beneficios a potenciar y los perjuicios a minimizar.

Seguridad vial

Según el BID (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015), y sobre la base de estadísticas de la OMS, la siniestralidad vial es la causa de casi 118.000 muertes por año en la región LAC. Esto representa una tasa anual de 19,2 fallecidos por cada 100.000 habitantes, levemente superior al promedio mundial (18,2) pero sustancialmente mayor a regiones de ingresos altos como Europa (9,3). El mismo trabajo del BID destaca que “la siniestralidad vial es la principal causa de mortalidad en niños hasta 14 años y la segunda causa de mortalidad en el grupo etario de 15 a 29 años. El 45% de las víctimas fatales son peatones, (incluyendo usuarios vulnerables como ancianos y niños), ciclistas y motociclistas (ver)(...)” y que “aproximadamente el 50% del total de los fallecidos en la región se concentran en zonas urbanas, mientras que en países de altos ingresos esta cifra se sitúa alrededor del 20%”.

Tanto en Argentina (89,5% según (CESVI, 2017)), como en Estados Unidos (93% según NHTSA, 2008), la principal causa de siniestralidad vial tiene que ver con errores humanos: en el caso argentino, se pueden mencionar como principales fallas la invasión de carril (44%), la distracción (9%), el no respeto de la señalización (7%), de la prioridad de paso (6%), de la distancia de seguridad entre vehículos (5%) y el cansancio (3%).

En función de lo anterior, es esperable que las tecnologías vehiculares que contribuyan a la automatización (aunque parcial) de la conducción permitan reducir el error humano y por ende los niveles de siniestralidad ((Anderson et al., 2016); (Fagnant & Kockelman, 2013)). Efectivamente, un VCA no sufriría problemas de cansancio, distracción o alcohol al volante, dispondría de una mejor percepción (por ejemplo ausencia de ángulos muertos), y mejores sistemas de tomas de decisión y ejecución, como por ejemplo un menor tiempo de reacción para un frenado de emergencia (Kalra, 2017).

Existen estimaciones detalladas y sofisticadas sobre los efectos esperables de las tecnologías vehiculares de ayuda a la conducción asociables con los niveles 0, 1 y 2 de automatización (Milakis et al., 2017) mientras que éstas se dificultan para niveles superiores, teniendo en cuenta los altos niveles de incertidumbre en cuanto a la temporalidad de las adopciones y a la reacción del público.

Rau et al (Rau, Yanagisawa, & Najm, 2015) proponen una metodología de análisis de los posibles impactos y reducciones de siniestralidad en función de las distintas tecnologías asociables a cada nivel de automatización vehicular. Kockelman y Li (Li & Kockelman, 2016) profundizan este análisis para las tecnologías asimilables a los niveles 1 y 2 de automatización para evaluar los beneficios económicos de estas reducciones. Se estima por ejemplo para Estados Unidos reducciones del orden de un tercio de los siniestros fatales si todos los vehículos estuviesen equipados con sistemas de advertencia de abandono de carril, avisos de colisión, detección de puntos ciegos / ángulos muertos y luces adaptativas (IHHS, 2010), todas tecnologías (individualmente) asociables al nivel 1. El nivel 2, gracias a la simultaneidad de funcionamiento entre sistemas de asistencia a la conducción, permite un salto en los beneficios esperables. Por ejemplo, un vehículo puede cumplir en simultáneo con las funciones de mantenimiento de carril y control de velocidad de cruce-

ro, con resultados superiores a un funcionamiento individual de ambos sistemas (Anderson et al., 2016).

En el nivel 3, el vehículo puede realizar todas las tareas de conducción bajo algunas circunstancias, eliminando entonces los riesgos vinculados al error humano (para el conductor). No obstante, este nivel también supone que el conductor recupere el control del vehículo ante un aviso por parte del vehículo, lo cual plantea nuevos riesgos y dudas en cuanto a la capacidad de reacción del ser humano en situaciones previas de inatención (Strand, Nilsson, Karlsson, & Nilsson, 2014). En términos generales, en los niveles 1 a 3, existe un riesgo de una mayor toma de riesgos por parte del conductor o peores performances al descansar (excesivamente) sobre los sistemas de asistencia a la conducción ((Milakis et al., 2016); (Kalra & Groves, 2017)).

Para mayores niveles de automatización (4 y 5), Kockelman y Fagnant (2013) estiman una reducción de 50% de la siniestralidad con una penetración de mercado del 10%, una reducción de 90% con una penetración de 90% y les asignan la mitad de esta mejora a peatones y ciclistas (por no ser usuarios directos de la tecnología VCA).

No obstante, y además de la propensión a una mayor toma de riesgo mencionada anteriormente, varios autores advierten sobre nuevos riesgos que podrían mermar las estimaciones preliminares realizadas, o que éstas sólo serían alcanzables para altos niveles de penetración. Por ejemplo, podrían aparecer riesgos de fallas de hardware y software, ciberataques, en la convivencia entre VCA y conducidos por humanos, por ejemplo en situaciones de peatón (Litman, 2018). Asimismo, Millard-Ball (Millard-Ball, 2016) sugiere interacciones complejas entre VCA y peatones donde estos últimos podrían incentivar un comportamiento de mayor “impunidad” en puntos de cruce al aprovecharse del comportamiento programado prudencial de los primeros. A su vez, y según el mismo autor, este tipo de situaciones frecuentes en ámbitos urbanos podría ir en detrimento de las velocidades de los VAC en ciudades fomentando la generación de espacios orientados a los peatones.

Adicionalmente, el probable aumento de los VKR tendería a su vez a un aumento de las interacciones entre vehículos y usuarios diversos y de las potenciales situaciones de siniestro.

Finalmente, en términos de política pública, persiste la duda del momento de introducción de los VCA en función del umbral de seguridad o confiabilidad que ofrecen, discusión sesgada por las preocupaciones y sesgos acerca de nuestra relación con las “máquinas” ((Deloitte, 2017); (Kalra, 2017); (World Economic Forum & The Boston Consulting Group, 2018)) pero también por la falta de métricas y estándares aplicables ((Kalra, 2017); (Transport Systems Catapult, 2016)). Así como lo muestran los resultados obtenidos por la consulta a expertos realizada en el marco de este estudio (ver más adelante resultados de las dos vueltas de encuesta Delphi ya realizadas), nuestra percepción sobre la confiabilidad de los vehículos es de hecho central en cuanto a nuestra disposición a adoptar la tecnología.

Asimismo, surgen las problemáticas vinculadas a las programaciones de las decisiones en los VCA necesariamente condicionadas y elaboradas a partir de nuestros sesgos humanos y a la asignación de responsabilidades en caso de siniestros. El experimento “The Moral Machine” del MIT (Massachusetts Institute of Technology, n.d.) pone en evidencia el primer aspecto: ¿en un caso de siniestro inevitable, cuál vida se tiene que privilegiar? ¿Se ven afectadas estas decisiones cuando se consideran factores como por ejemplo la edad, el género o la apariencia física? Ante esta nueva versión del dilema del tranvía, las posturas siguen abiertas como lo demuestran las declaraciones en 2016 (Taylor, 2016) de un ejecutivo de Mercedes declarando

que el constructor privilegiará la vida de los ocupantes del vehículo antes que las de terceros. En cuanto al segundo, tampoco aún resuelto, afecta directamente a la industria del seguro ((Viegas et al., 2016), (Smith & Carolina, 2016)): en caso de siniestro, por ejemplo entre un VCA sin conductor y un peatón, ¿es responsable el constructor del vehículo o su dueño?

Finalmente, Kalra y Groves (2017) insisten en el costo para la sociedad que implicaría demorar la introducción de VCAs aunque (solamente) ligeramente más seguros que el ser humano hasta que alcancen la cuasi perfección en términos de seguridad, abogando así por un enfoque racional al comparar la confiabilidad de un VCA y la de un ser humano.

Impactos ambientales

Para poder acercarnos al entendimiento de los impactos ambientales resultantes del marco tecnológico de este estudio, adoptamos la aproximación “ASIF” (por sus siglas en inglés) utilizado en varios estudios de referencia sobre el vínculo transporte - emisiones (por ejemplo (Greene & Plotkin, 2011), (Schipper & Marie-Lilliu, 1999), (Schipper, 2002), (Wadud et al., 2016)) y presentada a continuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Nivel de Actividad (A)} \cdot \text{Reparto Modal (S)} \cdot \text{Intensidad Energética (I)} \cdot \text{Contenido de combustibles en carbono (F)}$$

Los factores que afectan la intensidad energética (I), es decir el consumo de combustible por kilómetro recorrido, son varios y algunos se indican a continuación. Los valores indicados surgen esencialmente de los trabajos de ((Stephens et al., 2016) y (Wadud et al., 2016)) quienes también consideran distintos niveles de automatización (parcial - Niveles 1 y 2 / completa - Niveles 4 y 5), momentos del día (hora pico / no pico) y ámbito (urbano / autopista):

- La automatización podría permitir la adopción de las prácticas conocidas como “eco-driving” sin modificar el diseño del vehículo. Esto es una conducción más “suave”, continua, que permita optimizar los perfiles de aceleración, frenado y velocidad y por ende los mayores consumos de combustible asociados. A su vez, este efecto podría verse ampliado gracias a una coordinación entre vehículos habilitada por la conexión / comunicación entre vehículos (V2V), permitiendo así un tránsito más fluido y menores niveles de congestión. Stephens et al. (Stephens et al., 2016) estiman estos ahorros del orden de hasta 10% para una automatización parcial y de hasta 23%, valores similares a los valores máximos de 20% estimado por Wadud et al. (Wadud et al., 2016), de 40% que estiman Brown et al. (Brown, Repac, & Gonder, 2014) y al intervalo de entre 4 y 10% propuesto por Anderson et al. ((Anderson et al., 2016)).
- De la misma manera, los niveles de congestión (y por ende el consumo de combustible) podrían disminuir gracias a una reducción en la frecuencia de siniestros viales así como a una gestión más eficiente de las intersecciones gracias a las comunicaciones V2I. Stephens et al. (Stephens et al., 2016) estiman los ahorros vinculados al primer punto en hasta casi 2% y en hasta 6% en contexto urbano para el segundo, ambos para una automatización completa.
- Las tecnologías de comunicación V2V habilitarán modos de circulación en pelotón (platooning), lo cual consiste en múltiples vehículos uno tras otro con breves espacios entre sí para disminuir la resistencia aerodinámica (y el consumo en combustible), esen-

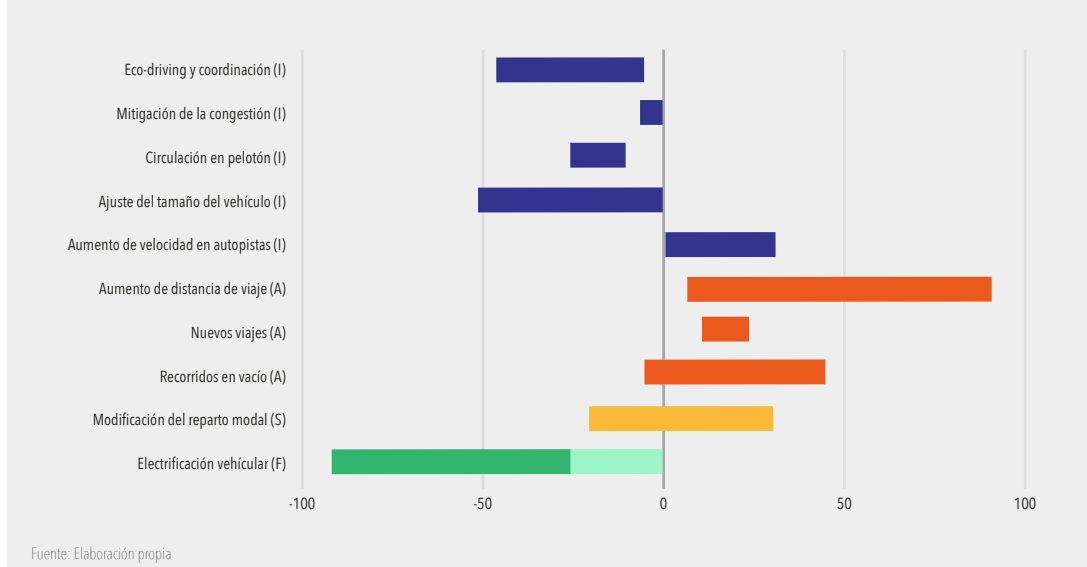
cialmente en autopistas y viajes interurbanos. Stephens et al. (Stephens et al., 2016) y Wadud et al. (Wadud et al., 2016) estiman ahorros de hasta 25%, similar a la estimación de hasta 20% de Brown et al. (Brown et al., 2014).

- La disminución de siniestros viales podría habilitar la eliminación de elementos de seguridad de los vehículos, haciéndolos más ligeros y disminuyendo así su consumo en combustible, pero también la migración de usuarios hacia vehículos de menor porte. Wadud et al. (Wadud et al., 2016) estiman un ahorro en consumo de combustible de hasta 23% similar al valor de hasta 25% estimado por Anderson et al. (Anderson et al., 2016) y el NRC (National Research Council, 2013) a 2030, ampliándolo hasta 50% a 2050. Adicionalmente, Brown et al. (Brown et al., 2014) y Stephens et al. (Stephens et al., 2016) mencionan la posibilidad de una mejor correspondencia entre el tamaño del vehículo utilizado y la demanda atendida (cantidad de ocupantes), por ejemplo vehículos más pequeños, adaptados a viajes individuales. Ambos trabajos estiman ahorros (totales por disminución de tamaño) del orden del 50%.
- En cambio, mayores velocidades de viaje habilitadas por mayores niveles de seguridad podrían generar un aumento en el consumo de combustible y mermar parcialmente los efectos anteriores en autopistas. Stephens et al. (Stephens et al., 2016) estiman incrementos en consumo de combustible de hasta 40%, en horas no pico, Wadud et al. (Wadud et al., 2016) de hasta 22% y Brown et al. (Brown et al., 2014) de hasta 30%.

No obstante, así como fue presentado anteriormente, es de esperar que la automatización de la conducción, esencialmente en sus niveles 4 y 5, tenga como consecuencia un aumento de los VKR (ver apartado anterior “Sistema modal”), con el corolario del aumento del consumo en combustibles. En efecto, la importante reducción esperable del costo generalizado de viaje para VCAs, pero también el acceso al uso de vehículos privados por parte de nuevos grupos demográficos, son factores que tenderán a aumentar la cantidad de viajes en general, la distancia de estos viajes, pero también una evolución del reparto modal hacia vehículos individuales (en uso privado o compartido). Cabe notar, que en este último caso, en función de cómo se realiza la modificación del reparto modal (por ejemplo desde el vehículo privado individual o desde un modo de transporte colectivo hacia un vehículo con viaje compartido), podría darse un aumento o una disminución de los VKR. Asimismo, en niveles de completa automatización, la posible conveniencia de que los vehículos realicen viajes en vacío (por ejemplo para evitar pagar una tarifa de estacionamiento) contribuirá al aumento de los VKR.

Estos efectos, reseñados como de “intensidad de uso” por Brown et al. (Brown et al., 2014), son los correspondientes a los conceptos de Nivel de Actividad (A) y Reparto Modal (S) del modelo “ASIF”.

Finalmente, el marco tecnológico propuesto permite visualizar modificaciones en el consumo de combustible a través del concepto de contenido en carbono (F): Brown et al. (Brown et al., 2014) consideran por ejemplo que 75% de la flota podría estar compuesta por vehículos eléctricos, asumiendo entonces una reducción de 75% del consumo en combustible, mientras que Arbib y Seba (Arbib & Seba, 2017) estiman una reducción de 90% en las emisiones de CO₂ producidas por los vehículos ligeros. No obstante, un análisis más completo implicaría considerar los modos de producción de las distintas energías e incorporar un enfoque del ciclo de vida de los vehículos para estimar y poder comparar la energía y emisiones totales entre flotas.

Figura 17. Síntesis de los impactos (rangos) estimados en consumos operativos de energía tras adopción de VCAs.**Tabla 7** Síntesis de los impactos (rangos) estimados en consumos operativos de energía tras adopción de VCAs

		Margen bajo	Margen Alto
Intensidad Energética (I)	Eco-Driving y Coordinación	-5%	-40%
	Mitigación de la congestión	0%	-6%
	Circulación en pelotón	-10%	-25%
	Ajuste tamaño del vehículo	0%	-50%
	Aumento de velocidad en autopistas	0%	30%
Nivel de Actividad (A)	Aumento distancia de viaje	7%	83%
	Nuevos viajes	10%	14%
	Recorridos en vacío	-5%	45%
Reparto Modal (S)	Modificación del reparto modal	-20%	30%
Contenido de combustibles en carbono (F)	Electrificación Vehicular	-25%	-90%

Fuente: Elaboración propia

Cabe reseñar no obstante que un análisis completo de los efectos ambientales agregados requeriría un enfoque global y de ciclo de vida de las implicancias. En efecto, la multiplicación de componentes electrónicos adicionales en los vehículos, las necesidades de nueva infraestructura vial (en particular para habilitar las comunicaciones V2I) pero también el intercambio, procesamiento y mantenimiento de los altas cantidades de datos son aspectos que pesarán negativamente en el balance de emisiones.

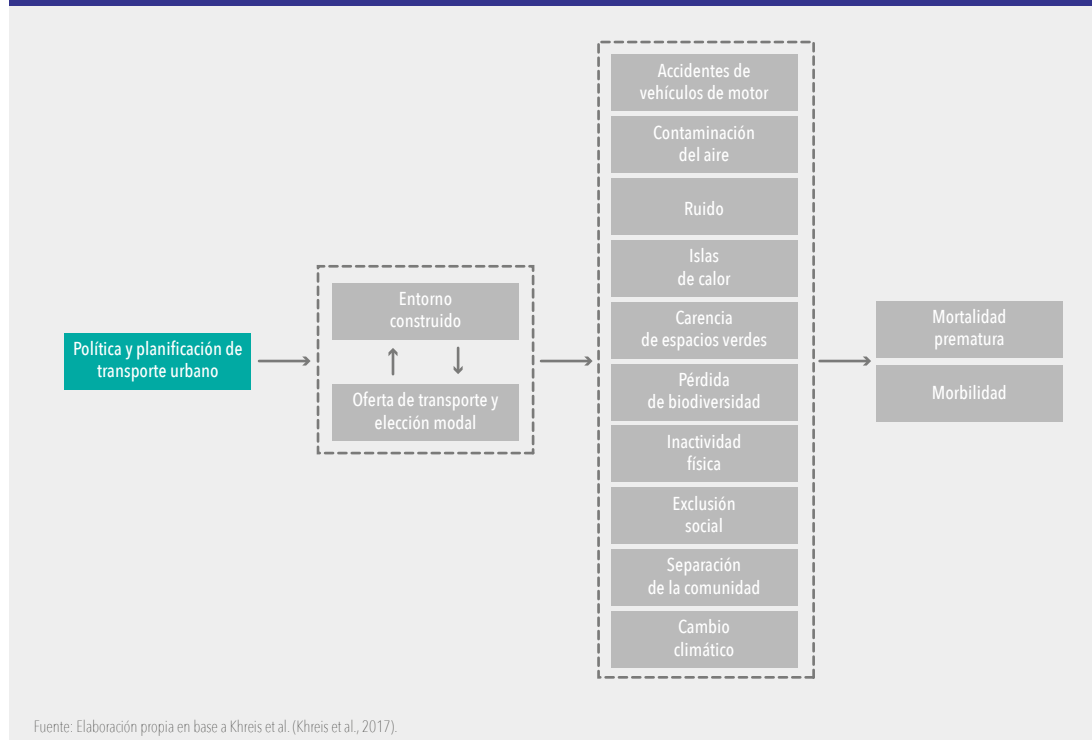
Efectos sobre la salud

Es claro que, independientemente de las tendencias individuales (de comportamiento y genéticas), la salud está socialmente determinada, en la medida en que el contexto de vida de una persona puede estimular o prevenir la aparición de ciertas patologías. La salud individual

está condicionada por las políticas públicas y sus efectos sobre los entornos físicos donde las personas realizan sus actividades y la exposición a situaciones de estrés crónico (Palmer, Ismond, Rodriquez, & Kaufman, 2019).

El transporte urbano, como evidencia un importante cuerpo de literatura (J. M. Cohen, Boniface, & Watkins, 2014), tiene efectos observables sobre la salud de las personas. Siguiendo a Khreis et al. (Khreis, May, & Nieuwenhuijsen, 2017), el modo en que se planifica el transporte moldea el entorno construido y la infraestructura disponible de forma tal que las personas están expuestas a una serie de impactos (ver figura siguiente) que generan una mayor morbilidad y mortalidad.

Figura 18. Impactos de la política de transporte en la salud.



Los impactos en salud provienen mayoritariamente de la motorización y el uso del automóvil. Los residentes de áreas orientadas al transporte público tienen $\frac{1}{4}$ de las fatalidades producto de siniestros viales en áreas orientadas al automóvil y las zonas con buenas condiciones para la caminabilidad contribuyen significativamente a cubrir los objetivos mínimos de actividad física diaria (Litman, 2018). Un estudio estimó que, sin contar la siniestralidad vial, la ciudad de Barcelona tiene un gasto de 20,3 millones de USD por exposición a los impactos del transporte (Mueller et al., 2017). En este contexto, si los VCAs lograsen aumentar sustancialmente su participación del automóvil en el reparto modal en virtud de los nuevos esquemas de costos, los efectos sobre la salud aumentarán, aunque también pueden tener efectos positivos. A continuación se describirán los posibles cambios en cada impacto.

- **Siniestros viales:** se estima que los VCAs en un contexto de generalización masiva reducirán el nivel de siniestralidad en aproximadamente un 90% (ver sección “Seguridad vial”). Si esta promesa se cumple, se reducirían a un 10% las 1,5 millones de muertes y las 79,6 millones de lesiones que ocurren anualmente (Organización Mundial de la Salud, 2018).

- **Contaminación del aire:** la exposición a la contaminación del aire producto de las emisiones de los vehículos motorizados tiene incidencia sobre afecciones pulmonares y respiratorias, enfermedades cardiovasculares, nacimientos prematuros y de bajo peso, y reducción de la función cognitiva. Por este motivo, se calculan 184.000 muertes anuales (The World Bank & Institute for Health Metrics and Evaluation, 2014) y el gasto en salud representa solo en Estados Unidos entre 50 y 80 mil millones de USD (APHA, 2010). Por las características del vehículo y el modo de conducción (ver sección “Impactos ambientales”) los VCAs podrán reducir las emisiones, aunque el efecto global quedará supeditado a la evolución de los VKR. El gran diferencial lo podrá hacer la movilidad eléctrica, que según Nichols et al. (Nichols, Kockelman, & Reiter, 2015) podrán bajar los costos en salud a más de la mitad (de 132 a 62 USD al año).
- **Contaminación sonora:** es la exposición al ruido del motor, el contacto de las ruedas con el pavimento y la operación del vehículo, que tiene efectos sobre la salud cardiovascular, el desarrollo cognitivo y el descanso. Se calcula que en Europa occidental se pierde 1 millón de años saludables a raíz de este impacto. En este sentido los VCAs podrían contribuir tanto por la forma menos agresiva de conducir (menos ruido por frenado y aceleración), aunque el efecto significativo se daría con una eventual electrificación. El efecto será sobre todo apreciable en los centros urbanos, ya que la diferencia en los niveles de ruido respecto de un vehículo con motor de combustión interna es mayor a bajas velocidades, pudiendo reducir de 3 a 4 dB (Marbjerg, 2013).
- **Sedentarismo:** se estima que la falta de actividad física debido a malas condiciones para caminar o andar en bicicleta y un alto uso del automóvil privado causa 2.1 muertes anuales, además de una serie de problemas cardiovasculares, diabetes, cáncer y alteraciones psicológicas (Woodcock, Franco, Orsini, & Roberts, 2010). El impacto de los VCAs en este sentido dependerá de cómo repercuta en el reparto modal la introducción de esta tecnología. Algunos autores han destacado que la modalidad compartida podría potenciar el uso de modos activos y transporte público, por lo cual el efecto sobre la actividad física dependerá de la forma y la intensidad con la que los VCAs se desplieguen (ver sección “Sistema de movilidad”).

Además de estos impactos directos, si los VCAs contribuyen a profundizar el modelo de ciudad basado en el automóvil -dispersión, zonificación de usos, grandes infraestructuras viales, efectos de barrera-, podrán también profundizar sus efectos socioambientales -islas de calor, cambio climático, pérdida de espacios verdes y exclusión social- y empeorar la salud física y mental de las personas (Khreis et al., 2017).

Por último, el modelo de desarrollo de los VCAs será clave para determinar el impacto en la salud. Si bien el desarrollo de MaaS (movilidad como un servicio) es aún incipiente, existen evidencias de que una integración avanzada de los servicios de transporte puede incentivar el comportamiento multimodal y, por lo tanto, contribuir a un mayor uso del transporte público y los modos activos, con un impacto positivo en la salud (Krantz, 2018).

Competitividad

El gran activo de las ciudades en términos económicos es la capacidad de acceder a una gran cantidad y diversidad de puestos de trabajo para los ciudadanos y de empleados para las empresas (Angel & Blei, 2015b). Dicha accesibilidad está directamente relacionada con el sistema de transporte, es decir a cuántos trabajos podemos alcanzar en un tiempo de viaje razonable.

Existe amplia evidencia de que las personas que poseen o tienen acceso a un automóvil alcanzan un número de empleos significativamente mayor que aquellos que solo disponen del transporte público (Benenson, Martens, Rofé, & Kwartler, 2011). En la medida en que los VCAs puedan reducir el costo generalizado del automóvil, y por ende se extienda su participación modal, los trabajadores tendrían acceso a una mayor cantidad de puestos de trabajo, lo cual podría impulsar la productividad. Desde ya, este efecto se vería limitado por el aumento de los niveles de congestión.

En lo que refiere al impacto en las distintas industrias y la economía en su conjunto, varios estudios han abordado esta temática tanto para Estados Unidos y Europa como a nivel global. En el caso de la economía estadounidense, Clements y Kockelman (Clements & Kockelman, 2017) calcularon un impacto de 4.422 USD per cápita, cuyos principales componentes son:

- Impactos en la economía en su conjunto (productividad, siniestralidad, combustibles): 1.144 mil millones de USD
- Impactos en industrias específicas: 420 mil millones de USD

Dentro del primer componente, se toma como referencia una reducción del 93% de los accidentes viales (488 mil millones de USD), una descenso del tiempo perdido en viaje debido a una mayor capacidad vial y una menor congestión, así como la utilización del tiempo en el vehículo de forma productiva -ver sección “Valor del tiempo” sobre este punto- (645 mil millones de USD), además de ahorros en combustible por la menor congestión y el manejo ecológico (11 mil millones de USD). Respecto del segundo componente, en la siguiente tabla se encuentran resumidos y cuantificados los impactos por industria.

Tabla 8 Estimación de impactos de la automatización en industrias específicas					
Industria	Descripción de impactos	Tamaño industria (miles de millones)	Variación (miles de millones)	Variación porcentual	USD per cápita
Seguros	Reducción de seguros personales por limitación de la responsabilidad del conductor y menor riesgo de accidentes.	\$180	\$108	60%	\$339
Transporte de cargas	Aumentará la productividad logística (más viajes por camión y posibilidad de circular en pelotón). Pérdida de puestos de trabajo.	\$604	\$100	17%	\$313
Desarrollo urbano	Refuncionalización de estacionamientos y posible cambio en forma urbana (densificación o dispersión).	\$931	\$45	5%	\$142
Automotrices	Aumenta por más VKR y mayor intensidad de uso (ciclo de vida más corto), aunque disminuye por mov. compartida. Mayor relevancia del software.	\$570	\$42	7%	\$132
Transporte de personas	Afectación de las industrias de transporte público y taxi. Crecimiento de flotas compartidas autónomas.	\$86	\$27	31%	\$83
Electrónica y Software	Con un aumento estimado del 10% al 40% del valor del vehículo, tendrán un gran impulso.	\$203	\$26	13%	\$83

Tabla 8 Estimación de impactos de la automatización en industrias específicas

Industria	Descripción de impactos	Tamaño industria (miles de millones)	Variación (miles de millones)	Variación porcentual	USD per cápita
Reparación de vehículos	Reducción por menor siniestralidad, contrarrestado levemente por aumento de VKR.	\$58	\$21	36%	\$66
Medios digitales	Tiempo de viaje destinado a otras actividades generará más integración de medios digitales en el automóvil.	\$42	\$14	33%	\$44
Medicina	Reducción de accidentes disminuye actividad de emergencias y hospitalización. Potencialidad de destinar recursos a otras áreas.	\$2,700	\$12	0%	\$36
Petróleo y Gas	Mayor eficiencia por vehículos ligeros, manejo ecológico, pelotones y menor congestión. Dependerá de los VKR.	\$284	\$10	4%	\$31
Construcción / Infraestructura	Reducción de necesidad de estacionamientos y menor infraestructura vial (banquinas, señales, etc.), mayor necesidad de infraestructura tecnológica.	\$169	\$8	4%	\$24
Policía de Tránsito	Dada la reducción del error humano, los controles se volverán cada vez más innecesarios y más remotos.	\$10	\$5	50%	\$16
Legales	Menor demanda de profesionales por disminución de número de litigios por accidentes.	\$277	\$3	1%	\$10
Total		\$6,113	\$420	7%	\$1,318

Fuente: Elaboración propia a partir de (Clements & Kockelman, 2017)

Otros estudios realizaron estimaciones respecto de cuál sería el impacto de la automatización a nivel global. Con un horizonte de 10-15 años, los impactos oscilan entre 273 y 670 mil millones de USD. Las estimaciones más conservadoras incluyen los efectos directos sobre las industrias (software, hardware, conectividad, aplicaciones) y los resultados más ambiciosos incluyen los beneficios sociales derivados (Raposo M. et al., 2018). Por su parte, Lanctot (Lanctot, 2017) estima que hacia 2050 el beneficio de MaaS puede ascender a 7 billones de USD.

Raposo et al. (Raposo M. et al., 2018) exploraron los impactos económicos de los VCAs en el continente europeo a partir de tres escenarios:

- **Escenario 1:** aceptación baja. Desarrollo tecnológico lento, poca intervención de la política pública y pocos usuarios.
- **Escenario 2:** aceptación media. Desarrollo tecnológico e intervención de la política pública moderada y nivel de usuarios medio.
- **Escenario 3:** aceptación alta. Desarrollo tecnológico rápido, fuerte intervención de la política pública y numerosos usuarios.

En lo que refiere a la industria para el transporte de pasajeros, a continuación se pueden ver las proyecciones para cada escenario, sobre la base de cambios en los VKR y participación de la movilidad compartida.

Tabla 9 Impactos en las industrias con la llegada de los VCAs.

	Horizonte	Línea base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Ventas de automóviles (variación en %)	2025	9%	18%	31%	39%
	2050	30%	47%	51%	33%
Primas de seguros (variación en %)	2025	-	-10%	-15%	-30%
	2050	-	-15%	-20%	-40%
Electricidad consumida por autos eléctricos (en TWh)	2025	4	43	110	230
	2050	29	140	440	540
Combustible consumido por autos privados (en billones de euros)	2025	290	5%	15%	20%
	2050	280	6%	-22%	-39%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (Raposo M. et al., 2018)

En suma, la automatización vehicular traerá profundos cambios en industrias diversas, algunas de las cuales se verán beneficiadas y otras perderán relevancia relativa. Sin embargo, la literatura tiende a coincidir en que producirá un crecimiento en términos económicos, como suelen hacerlo las ganancias en productividad derivadas de los saltos tecnológicos.

Equidad

Las ciudades, en particular las del mundo emergente, presentan una distribución desigual de bienes y servicios, de forma tal que la ubicación de las personas y grupos sociales en el espacio urbano condiciona el acceso a las oportunidades. El transporte juega un rol central en esta configuración, ya que puede coadyuvar a consolidar o corregir situaciones de inequidad.

Actualmente, la accesibilidad potencial de las personas (Geurs & van Wee, 2004) está atravesada por la inequidad. Existe una amplia evidencia en la literatura respecto de la distribución desigual de la capacidad de los (grupos de) individuos para acceder a empleos, salud, educación y otras actividades ((Preston & Rajé, 2007); (Welch, 2013); (Oviedo-Dávila, 2017), entre otros). Sin embargo, no existe una idea clara respecto de qué significa una distribución justa de las inversiones en transporte ni cómo alcanzarla (Martens, Golub, & Robinson, 2012).

Las mejoras en la infraestructura de transporte no deben tener únicamente en cuenta su potencialidad en términos de movilidad, sino también prestar atención a quiénes podrán beneficiarse de ellas. Es en esta clave que vale la pena evaluar la llegada de los VCAs: además de cuantificar a los potenciales beneficiarios de la disrupción tecnológica, es preciso vislumbrar quiénes podrían ser perdedores y cuál será el límite socialmente aceptable de la nueva configuración (T. Cohen, Jones, & Cavoli, 2017).

Como encuadre teórico, el concepto de “pobreza por transporte” resulta útil a estos fines. Este refleja la intersección de cuatro elementos (Lucas, Mattioli, Verlinghieri, & Guzman, 2016):

- Movilidad limitada: falta de infraestructura de transporte (sobre todo motorizado) que dificulta la movilidad de las personas.
- Accesibilidad limitada: la dificultad de acceder a distintas actividades en tiempo, niveles de costo y confort razonables.

- Asequibilidad limitada: la falta de recursos para acceder al transporte público o a modos de transporte motorizado.
- Exposición a externalidades: una exposición desproporcionada a impactos como siniestros viales y enfermedades por contaminación.

Desde el punto de vista de la movilidad y, en consecuencia, de la capacidad de las personas de acceder a las actividades que desean realizar, los VCAs representan una significativa mejora para las personas que hoy presentan una movilidad reducida: ancianos, niños, personas con discapacidad, entre otras. La inclusión de estos grupos sociales resulta sin duda un aspecto positivo en términos de equidad.

Es un dato conocido que los sistemas de movilidad suelen estar más desarrollados hacia los viajes pendulares (casa-trabajo/estudio), desatendiendo en gran medida los viajes por otros motivos (salud, compras, llevar niños a la escuela). Por la configuración socio-histórica de los roles de género, estos últimos son realizados en mayor proporción por las mujeres (J. M. Cohen et al., 2014) en lo que se conoce como “encadenamiento de viajes”. Cabe esperar que los VCAs, sobre todo si se planifican bajo el concepto de MaaS, puedan contribuir a facilitar estos viajes para los cuales no existe infraestructura de transporte masivo, mejorando la accesibilidad sobre todo de mujeres.

Ahora bien, los efectos no son tan claros cuando se evalúa el potencial aumento de los VKR (ver sección “Sistema de Movilidad”) sobre los usuarios del transporte público y los modos activos. En caso de que no se adopten políticas de jerarquización de los modos sostenibles, la mayor movilidad de ciertos grupos influirá negativamente en la movilidad de otros, sobre todo en aquellos con mayor nivel de cautividad. Es probable que la cuestión de inequidad en el uso del espacio que se verifica actualmente entre usuarios de automóvil y el resto de los usuarios del sistema de movilidad se intensifique en el futuro (Orfeuill, 2017).

En lo que respecta a la asequibilidad, Rivas et al. (Rivas, Serebrisky, & Suárez-Alemán, n.d.) estimaron en un estudio sobre ciudades latinoamericanas que el porcentaje de ingreso que debe destinar el quintil inferior para comprar una canasta de 60 viajes mensuales en transporte público excede el 25% en más de la mitad de las ciudades relevadas⁵. Es claro que una porción mayoritaria de la población de la región no estará en condiciones de adquirir un VCA, sobre todo en las primeras fases de su introducción en el mercado, cuando se estima una prima de entre 7.000 y 10.000 USD sobre el valor de un vehículo tradicional (ver sección “Costos de adquisición”). La diferencia de capacidad de pago podrá generar un gap de oportunidades mayor que el actual, ya que las personas con VCAs no solo tendrán mayor accesibilidad, sino que también podrán ser relativamente más productivas.

Incluso dentro del grupo de usuarios de automóvil, los efectos de los VCAs pueden diferir en función de la cantidad de vehículos por hogar. En los hogares que hoy pueden afrontar el gasto de un solo automóvil en ausencia de otras opciones de movilidad, hay evidencia de que los miembros pueden verse afectados en su accesibilidad, sus redes sociales de apoyo y su bienestar subjetivo (Delbosc & Currie, 2011). En este punto, los VCAs pueden representar una ventaja para los hogares cautivos del automóvil, ya que la posibilidad de encadenar viajes con distintos miembros del hogar brinda una flexibilidad imposible de lograr con un automóvil con conductor. Esta flexibilidad podría contener la expansión de la propiedad y mejorar la accesibilidad.

5. Cabe destacar que el quintil superior, con mayor utilización del transporte individual, gasta efectivamente 17,1% del ingreso del hogar. Los hogares más pobres destinan de forma efectiva considerablemente menos (7,7% según Gandelman et al., 2018), probablemente debido a una mayor evasión y el uso cautivo de los modos activos.

Desde el punto de vista de la exposición a las externalidades del transporte, tanto las posibles mejoras en seguridad vial producto de la automatización como los progresos en ruido y emisiones producto de la electrificación tendrían como efecto una reducción de las externalidades (con mayor o menor intensidad en función de la evolución de los VKR). El peligro de generar enclaves de seguridad con VCAs (sobre todo en Latinoamérica donde ya proliferan las urbanizaciones cerradas) es una posibilidad latente a considerar en la distribución de estos beneficios.

Por otra parte, las decisiones éticas detrás de los algoritmos comportan una arista de equidad. En el caso en que un VCA se encuentre ante una situación de accidente inminente en la cual debe elegir proteger a una persona sobre otra, ¿cuáles serán los criterios a considerar? El ejercicio «moral machine» es muy elocuente en este sentido, ya que alerta sobre el peligro de incluir variables que perjudiquen a grupos específicos (edad, género, discapacidad, ingreso) o favorezca siempre a los conductores. Cabe preguntarse si automatizar dichas decisiones será alguna vez socialmente aceptable, e incluso deseable (T. Cohen et al., 2017).

Respecto del uso de los servicios de movilidad compartida, la literatura reconoce que los usuarios de transporte más jóvenes, mejor educados y con mayores ingresos tienen más probabilidades de convertirse en clientes de estas plataformas ((Clewlow & Mishra, 2017); (McGrath, 2015); (Rayle, Dai, Chan, Cervero, & Shaheen, 2016b)). Aunque algunas lecturas hacen una interpretación positiva de estas tendencias como cambios generacionales y cambios hacia trayectorias de desarrollo más inteligentes y más sostenibles, otros autores advierten sobre los peligros de la brecha digital y las barreras de acceso a la movilidad compartida como posibles mecanismos de exclusión social.

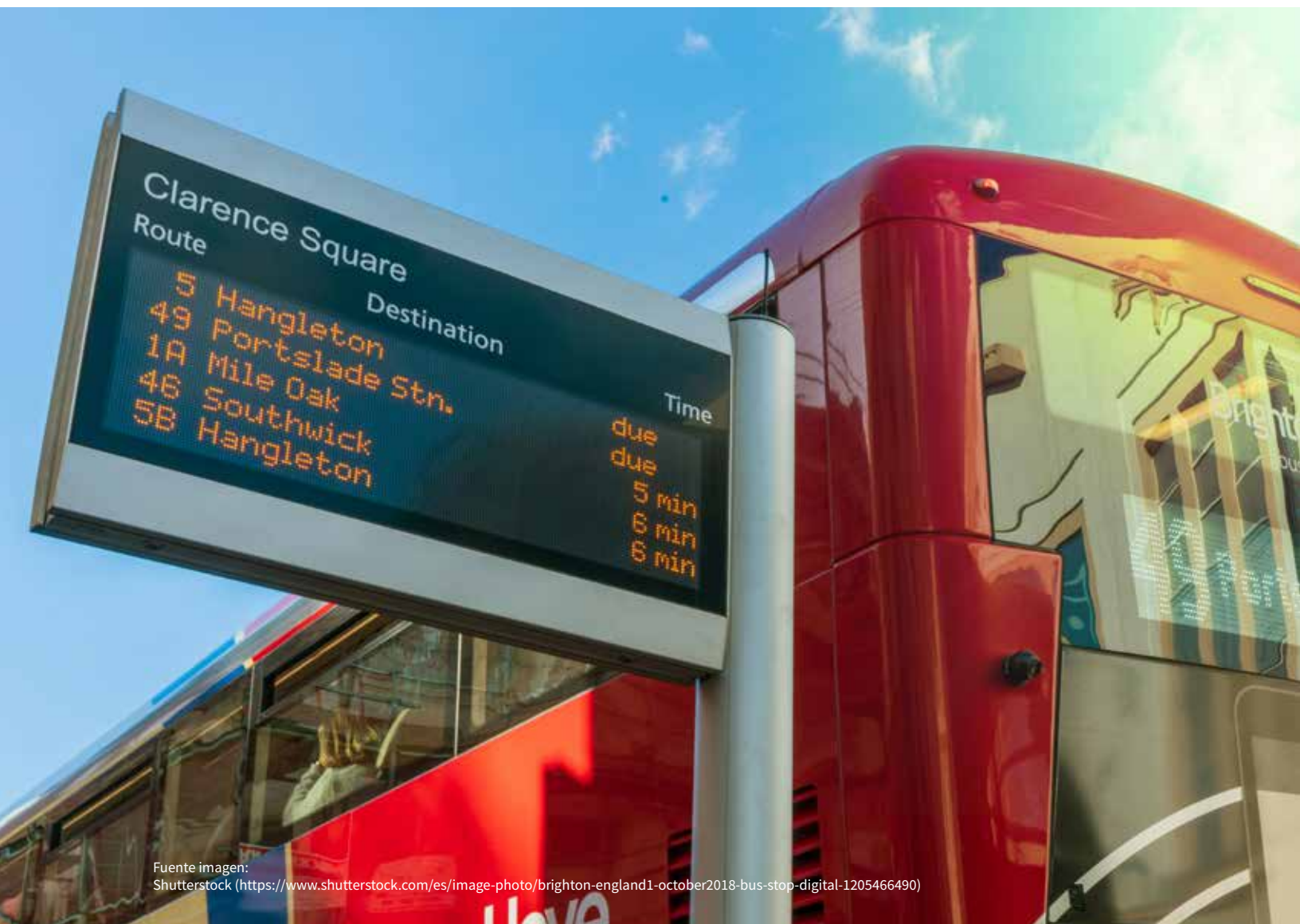
La noción de brecha digital, a menudo asociada con el acceso desigual a los datos de teléfonos inteligentes y móviles y las diferencias en las habilidades requeridas para usar tales tecnologías entre grupos sociales (Selwyn, 2004), se extiende al acceso a una nueva miríada de bienes y servicios en la economía colaborativa. En contextos urbanos del mundo en desarrollo, se han comprobado la correlación entre los ingresos y el acceso a un teléfono inteligente y datos móviles (Poushter, 2016), lo que hace que la brecha digital sea un mecanismo adicional de exclusión de los pobres, los ancianos y las personas con un nivel de educación más bajo.

Algo similar ocurre con la necesidad de contar con una cuenta bancaria, ya que en 2014 un 45% de los adultos del mundo en desarrollo no tenían acceso a una cuenta y un 90% no poseía tarjeta de crédito (Demirguc-Kunt, Asli. Klapper, Leora. Singer, Dorothe. Oudheusden, P, 2015). Sin embargo, se han detectado reacciones para responder al acceso limitado a la banca en las ciudades de América Latina, ofreciendo opciones de pago en efectivo en servicios como Uber y Cabify en algunos contextos. Si bien cabe esperar que estas diferencias se suavicen con el tiempo, es posible que en una primera etapa de los VCAs estos mecanismos sean aún relevantes.

Por último, cabe mencionar el efecto de inequidad que resulta de la pérdida de empleo de quienes actualmente se desempeñan como conductores y otras actividades conexas. Si bien el reemplazo de tareas humanas por tecnología atañe a un sinnúmero de industrias y áreas de actividad, resulta insoslayable diseñar estrategias para contener el impacto social de la pérdida de empleo, de modo que sea posible reconvertir productivamente a los grupos de afectados ((Harari, 2018); (Levy Yeyati, 2018)).

Aunque no hay literatura que explore la cantidad de puestos de trabajo que pueden surgir a partir de la disrupción tecnológica que implica la automatización vehicular, es probable que

sean más (OECD - International Transport Forum, 2017a) pero de mayor calificación, lo cual profundizaría el problema de la exclusión social y productiva de aquellos que no poseen la calificación adecuada. Por esto se requerirá de la intervención activa de los poderes públicos en brindar una red de sostén, un sistema educativo dinámico y posibilidades de re-entrenamiento (Raposo M. et al., 2018).



5 | Conclusiones



Fuente imagen: Fue proveída por el BID

La renombrada revolución 4.0 está generando grandes impactos y tendencias disruptivas de los servicios de transporte que tienen innumerables implicancias en las políticas y en la forma en que planificamos el transporte. Sumado a que la tasa de crecimiento de la población urbana para 2050 se espera que alrededor del 85% de la población de América Latina resida en ciudades, nos invita a entender rápidamente estos impactos y cómo se traducen estos nuevos patrones de movilidad en las grandes urbes¹.

1. Naciones Unidas (2017), "América Latina y Caribe: estimaciones y proyecciones de población 1950-2050".

La producción de datos masivos, el denominado Big Data, abre nuevas oportunidades en el campo de la planificación del transporte en las ciudades de la región. Se trata de grandes volúmenes de datos producidos de forma continua por multitud de sensores y dispositivos, como los localizadores GPS de los smartphones, los registros de llamadas telefónicas, los lectores de las tarjetas inteligentes de transporte, las aplicaciones de los servicios de movilidad, las cámaras de tráfico, las espiras, etc. Se habla de una auténtica revolución de los datos, ya que se calcula que en los últimos dos o tres años se han generado tantos datos como en toda la historia de la humanidad.

En este contexto, los avances en el desarrollo de tecnologías como Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas y Computación en la Nube prometen generar transformaciones sin precedentes en el sector transporte. Los nuevos modelos de servicios de transporte, marcadas por las tendencias en innovación disruptiva y economías compartidas están en el centro del debate.

Como bien sabemos, un vehículo autónomo es aquél que puede prescindir de la intervención humana para circular, ya que las tareas de conducción han sido automatizadas a través de un software y sensores dispuestos para tal fin. Dado que los vehículos no tienen estrictamente la capacidad de decidir por sí mismos en el sentido de dar finalidad a sus acciones, es más correcto usar el término “vehículos de conducción automatizada” (VCA), según la Society of Automotive Engineers (SAE).

Un VCA, requiere una sincronización perfecta entre sensores avanzados que recopilan información sobre el entorno, algoritmos sofisticados que procesan los datos y controlan el vehículo y potencia computacional para procesar todo en fracciones de segundos.

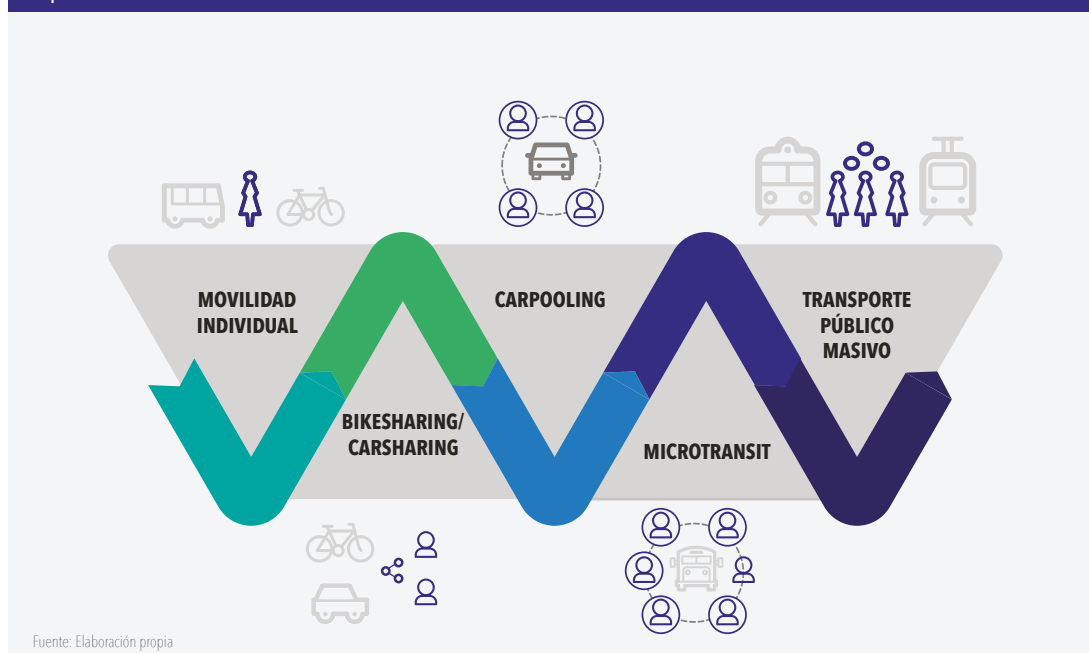
Si bien cualquier tipo de vehículo puede automatizarse (aviones, trenes, camiones, etc.) en el marco de esta nota técnica nos centraremos en los automóviles de conducción automatizada, dado su potencial impacto en la movilidad de las ciudades.

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés) ha elaborado una definición sobre los niveles de automatización vehicular, que es internacionalmente aceptada en el sector y que aplica tanto a vehículos de pasajeros como a los que transportan mercancías. La automatización parte desde el nivel 0, donde la operación del vehículo requiere de la activa intervención humana, hasta el nivel 5, en el cual el vehículo es completamente autónomo.

Algunos enfoques hablan de escenarios vinculados la movilidad compartida.

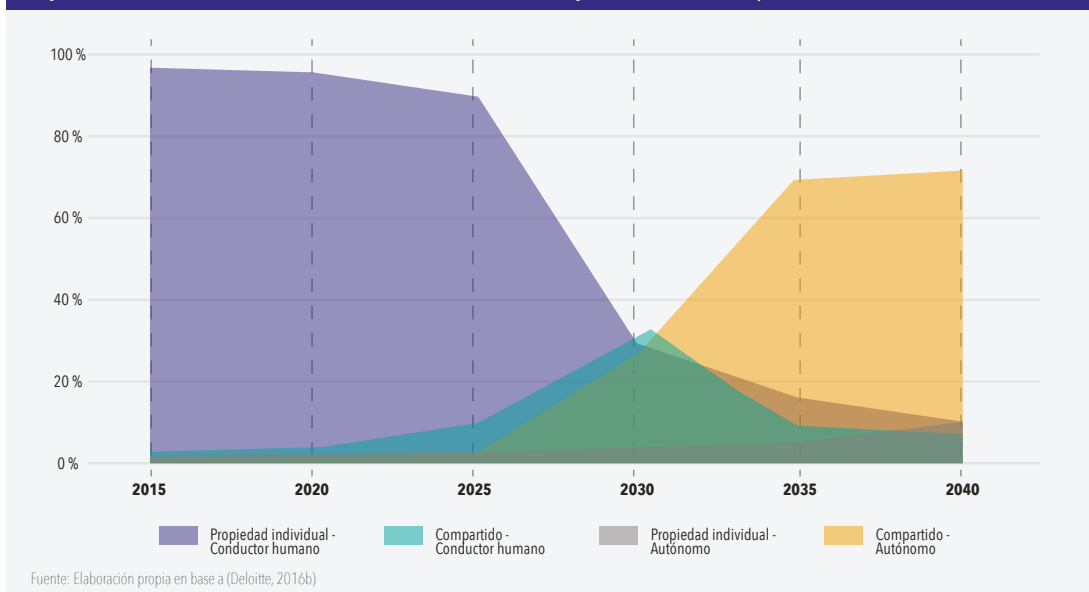
En esta línea, están por ejemplo los estudios de (The Boston Consulting Group, 2016), (Deloitte, 2016b), (Berylls Strategy Advisors, 2017), (Fulton et al., 2017), (Saujot et al., 2018). Otros creen que las posibles variaciones entre VCAs compartidos e individuales tienen que ver con las etapas de transición y despliegue en las que las políticas públicas pueden favorecer alguna vía sobre otra (es el caso de (McKinsey&Company, 2016), (KPMG, 2017), (Accenture, 2018), (Arbib & Seba, 2017), (ATKINS, 2015), (Schwartz, Arcadis, & HR&A, 2017), (Bloomberg & The Aspen Institute, 2017).

Esquema de MaaS.



Si bien la adopción de la nueva tecnología de conducción automatizada irá avanzando, dependerá del ritmo de adopción, niveles de uso y penetración en cada país. Además, según Corbin y Hobijn (2010) hay una correlación entre los niveles de ingresos per cápita y los tiempos (o retrasos) de adopción de las tecnologías entre las distintas regiones del mundo. De esta manera, la región latinoamericana muestra demoras regulares en los niveles de adopción respecto de los primeros adoptadores (generalmente Estados Unidos y Gran Bretaña) pero también de los países de la OCDE.

Proyección de la evolución de la automatización vehicular y la movilidad compartida (2015-2040).



Una publicación del BID denominada “La marcha se acelera: los vehículos del comercio internacional 4.0” indica que las características e implicancias de los vehículos autónomos, el desarrollo de la tecnología, en todas sus diferentes modalidades ocuparán un lugar protagónico en el diálogo de los técnicos del sector, dado sus posibles impactos y consecuencias no sólo en la movilidad sino en términos sociales, de productividad, comercio y empleo².

La tecnología de los VCA promete grandes cambios y beneficios en el sector de transporte, tales como: (i) reducción de incidentes causados por el error humano; (ii) menor congestión gracias a la coordinación entre vehículos; (iii) reducción de contaminación al trabajar con vehículos eléctricos; (iv) menor consumo de energía entre otros. Sin embargo, tendrá grandes implicancias en diferentes áreas de formulación de planificación del transporte que hacen que aún se generen incertidumbres sobre el verdadero impacto.

Según la propuesta de Milakis et al. (Milakis, Van Arem, & Van Wee, 2017), los impactos que podrán generar los VCAs son de tres niveles:

- Primer orden (cambios que la automatización producirá sobre el costo generalizado del viaje, en términos de costo de adquisición, costo de operación y valor del tiempo; son impactos a nivel de agente.
- Impactos de segundo orden: factores que intervienen en la elección modal, como la localización de individuos y firmas, las preferencias sobre la propiedad (modelo de propiedad individual) o el uso (movilidad compartida) de los VCAs, y los impactos resultantes de esa nueva configuración del reparto modal sobre la infraestructura urbana y de transporte (incluida la capacidad vial).
- Impactos de tercer orden: el resultado agregado de las decisiones y restricciones combinadas en los niveles 1 y 2 en términos de la sociedad en su conjunto, con respecto a la seguridad vial, la equidad social, la competitividad de la economía, la contaminación del aire y la salud.

Sin embargo son muchos los desafíos que enfrentan los VCA, la revisión de literatura propuesta en los distintos capítulos de esta nota técnica se refiere a algunas de las siguientes variables a ser evaluada: (i) desarrollo tecnológico específico en el área de sensores e inteligencia artificial: entrenamiento del vehículo y programación del conjunto de sensores para su acoplamiento a los diferentes entornos de operación; (ii) respuesta ante posibles colisiones; (iii) el despliegue de flotas de VAC compartidos en un contexto urbano podría competir con los servicios de transporte público masivo; (iv) gran impacto en los modelos comerciales de los fabricantes de automóviles por reducción de ventas de vehículos particulares; (v) Riesgos de accidentes por fallas en los sistemas del vehículo y durante la fase de transición, cuando todavía habrá una gran cantidad de vehículos conducidos manualmente; (vi) gestión del espacio liberado; (vii) Riesgos de ciberataques y para la privacidad de los usuarios (en el tratamiento y propiedad de los datos generados por los vehículos autónomos); (viii) Incremento del desempleo por la automatización de procesos; (ix) reducción del valor del tiempo en viaje, dado que las personas podrán realizar otras tareas en el vehículo, como trabajar o mirar televisión, esto podría llevar a extensiones aún mayores de los espacios urbanos, con un consecuente incremento de los kilómetros recorridos por unidad si los vehículos no son utilizados de manera compartida, con las consecuencias en materia de costo y tiempo de transporte.

2. <https://publications.iadb.org/es/la-marcha-se-acelera-los-vehiculos-del-comercio-internacional-40>

De hecho, tal como se explica en el capítulo 4, pueden aparecer cambios en el crecimiento de las ciudades. Por ejemplo, para escenarios basados en vehículos privados y suponiendo un aumento de los VKR, Thakur et al. (Thakur, Kinghorn, & Grace, 2016), estiman una reducción de población del 4% en zonas centrales de la ciudad y un aumento de 3% en los suburbios más alejados para el caso de Melbourne (Australia). De la misma manera, Gelauff et al. (Gelauff, Ossokina, & Teulings, 2017) estiman para Holanda que la automatización de la conducción en vehículos privados conlleva importantes efectos de suburbanización y de relocalización hacia zonas no urbanas.

Ante estos escenarios, la implicación de las políticas de transporte, la gobernanza y la forma efectiva de actuar resultan cruciales. El objetivo de esta primera nota técnica es introducir al lector, técnicos y autoridades de planificación del transporte de la región al dialogo y reflexión que guíen la formulación de las políticas públicas en el desarrollo de repensar la movilidad de nuestras ciudades ante la aparición y desarrollo a grandes pasos de nuevos servicios de movilidad.

La reflexión de diversos investigadores al respecto nos muestra que existen distintas variables a estudiar y reconsiderar al hablar del futuro de la movilidad y principalmente de sus efectos tanto disruptivos como transformadores que marcarán el ritmo y forma de adopción de esta nueva tecnología.

6 | BIBLIOGRAFÍA

- Abrantes, P. A. L., & Wardman, M. R. (2011). Meta-analysis of UK values of travel time: *An update. Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1), 1–17. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2010.08.003>
- Accenture. (2018). *Mobility as a Service - Mapping a route towards future success in the new automotive ecosystem*. Accenture.
- Agosta, R., Blas, F., Massin, T., & Rodríguez, F. (2018). *Implications of Connected and Automated Vehicles on sprawl and public transportation systems in Latin-American cities*.
- American Planning Association. (2018). *Preparing communities for Autonomous Vehicles*. Retrieved from <https://www.planning.org/publications/document/9144551/>
- Anderson, J., Kalra, N., Stanley, K., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. (2016). *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*. Retrieved from http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html
- Angel, S., & Blei, A. M. (2015a). *Commuting and the productivity of American cities*.
- Angel, S., & Blei, A. M. (2015b). *Commuting and the spation structure of American Cities: The dispersal of the great majority of workplaces away from CBDs, employment sub-centers, and live-work communities.*, 0–54.
- APHA. (2010). *The Hidden Health Costs of Transportation*. Public Health, 12.
- Arbib, J., & Seba, T. (2017). *Rethinking Transportation 2020-2030*. Retrieved from https://static1.squarespace.com/static/585c3439be65942f022bbf9b/t/591a2e4be6f2e1c13df930c5/1494888038959/RethinkX+Report_051517.pdf
- ARK Invest. (2017). *Mobility-As-a-Service: Why Self-Driving Cars could change everything*. Retrieved from http://research.ark-invest.com/hubfs/1_Download_Files_ARK-Invest/White_Papers/Self-Driving-Cars_ARK-Invest-WP.pdf
- ATKINS. (2015). *Connected and autonomous vehicles*.
- Auld, J., Sokolov, V., & Stephens, T. (2016). *Analysis of the impacts of CAV technologies on travel demand*, (630).
- Autotalks. (2018). *Accelerating Global V2X Deployment for Road Safety*.

- Avner, P., Mehndiratta, S. R., Vigié, V., & Hallegatte, S. (2017). Buses, houses or cash? Socio-Economic, spatial and environmental consequences of reforming public transport subsidies in Buenos Aires, 1–54. <http://doi.org/10.1596/1813-9450-8166>
- Baiyere, A., & Hannu, S. (2015). *Wicked yet Empowering-When IT Innovations are also Disruptive Innovations*. AIS Electronic Library.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Estrategia de Seguridad Vial*, 201. <http://doi.org/10.1177/002088170704400203>
- Banco Interamericano de Desarrollo, UN Habitat, & Corporación Andina de Fomento - CAF. (2017). *Steering the Metropolis: Metropolitan Governance for Sustainable Urban Development*. <http://doi.org/10.18235/0000875>
- Bansal, P., & Kockelman, K. M. (2017). *Forecasting American's long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 44(4), 249–264. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=22521046>
- Bansal, P., Kockelman, K. M., & Singh, A. (2016). *Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: an Austin perspective*.
- Barcham, R. (2014). *Climate and Energy Impacts of Automated Vehicles*, 1–30.
- Baruj, G., Obaya, M., Porta, F., Santarcángelo, J., Sessa, C., & Zweig, I. (2017). *Complejo Automotriz Argentino: situación tecnológica, restricciones y oportunidades (CIECTI)*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Becker, F., & Axhausen, K. W. (2017). *Literature review on behavioral experiments for autonomous vehicles*.
- Beer, R. (2016). *Qualitative Analysis of Ridehailing Regulations in Major American Cities*, 894(516), 1–23.
- Benenson, I., Martens, K., Rofé, Y., & Kwartler, A. (2011). *Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area. Annals of Regional Science*, 47(3), 499–515. <http://doi.org/10.1007/s00168-010-0392-6>
- Berylls Strategy Advisors. (2017). *The revolution of urban mobility*.
- Bischoff, J., & Maciejewski, M. (2016). *Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin. Procedia Computer Science*, 83(June), 237–244. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.121>
- Blanco, J., & San Cristóbal, D. (2012). *Reestructuración de la red de autopistas y metropolización en Buenos Aires*, 73–88.
- Blas, F., Massin, T., Rodríguez, F., González, F., & Agosta, R. (2018). *Caracterización de la movilidad de las ciudades latinoamericanas para la planificación*. Congreso Latinoamericano de Transporte Público Urbano 2018.
- Blas, F., Massin, T., Uranga, M., Agosta, R., & Rodríguez, F. (2018). *El impacto de la autonomización en el costo del transporte y el equilibrio de los sistemas de movilidad urbana. aplicación al caso de buenos aires*. Congreso Latinoamericano de Transporte Público Urbano 2018.

- Bloomberg, & The Aspen Institute. (2017). *Taming the Autonomous Vehicle. A Primer for Cities*. Bloomberg Philantropes.
- BNEF. (2017). *Electric Vehicle Outlook 2017*.
- Boarnet, M. G., & Chalermpong, S. (2001). *New highways, house prices, and Urban development: A case study of toll roads in orange county*, Ca. *Housing Policy Debate*, 12(3), 575–605. <http://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521419>
- Boarnet, M. G., & Haughwout, A. F. (2000). *Do highways matter? Evidence and Policy implications of Highways' influence on Metropolitan Development*.
- Bodde, D. L., & Sun, J. (2016). *Emergent entrepreneurial networks for the transition to automated urban mobility*. 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC 2016.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). *Cost-based analysis of autonomous mobility services*. *Transport Policy*, 64, 76–91. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- Botsman, R., & Rogers, R. (2010). *What's mine is yours: how collaborative consumption is changing the way we live*. *Harvard Business Review*.
- Brown, A., Repac, B., & Gonder, J. (2014). *An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicle*. In *Road Vehicle Automation 1*. *Lecture Notes in Mobility*.
- Bruegman, R. (2006). *Sprawl, a compact history*.
- Buenos Aires Ciudad. (2017). Buenos Aires Data. Retrieved February 13, 2019, from <https://data.buenosaires.gob.ar/>
- Button, K., Ngoe, N., & Hine, J. L. (1993). *Modelling vehicle ownership and use in low income countries*.
- CAF. (2016). *Observatorio de Movilidad Urbana: Informe 2015-2016*. CAF Banco de Desarrollo de América Latina. Retrieved from http://omu.caf.com/media/2537/caf_omu_jun2010.pdf
- Casley, S., Jardim, A., & Quartulli, A. (2013). *A study of public acceptance of autonomous cars interactive qualifying project*, (April).
- Cervero, R. (2001). *Induced Demand: An Urban and Metropolitan Perspective*, (March).
- CESVI. (2017). *En la conducción, errar es humano*. Retrieved February 11, 2019, from <https://home.cesvi.com.ar/Posts/ViewPost/EnLaConduccionErrorEsHumano>
- Chen, T. D., & Kockelman, K. M. (n.d.). *Carsharing 's Life-Cycle Impacts on Energy Use & GHG Emissions Background: Carsharing 's Growth*.
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Hanna, J. P. (2016). *Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 243–254. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.020>
- Childress, S., Nichols, B. G., Charlton, B., & Coe, S. (2015). *Using an Activity-Based Model to Explore the Potential Impacts of Automated Vehicles*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2493, 99–106. <http://doi.org/10.3141/2493-11>

- Choudhury, C. F., Yang, L., Abreu, J. De, & Ben-akiva, M. E. (2017). *Modelling preferences for smart modes and services: A case study in Lisbon*. Transportation Research Part A. <http://doi.org/10.1016/j.trra.2017.07.005>
- Circella, G., Alemi, F., Berliner, R., Tiedeman, K., Lee, Y., Fulton, L., ... Mokhtarian, P. (2017). *Multimodal Behavior of Millennials: Exploring Differences in Travel Choices Between Young Adults and Gen-Xers in California*. To Be Presented at the 96th Transportation Research Board Meeting, Washington, DC.
- Clements, L. M., & Kockelman, K. M. (2017). *Economic Effects of Automated Vehicles*, 15, 512–471.
- Clewlow, R. R., & Mishra, G. S. (2017). *Disruptive Transportation: The Adoption, Utilization, and Impacts of Ride-Hailing in the United States*. Ucd-Its-Rr-17-07. Retrieved from https://its-pubs.ucdavis.edu/wp-content/themes/ucdavis/pubs/download_pdf.php?id=2752
- CNIL. (2017). *Véhicules connectés et données personnelles*.
- Cohen, A., Davis, U. C., Adam, P., & Berkeley, U. C. (2008). *Carsharing: A Guide for Local Planners*. Institute of Transportation Studies, UC Davis.
- Cohen, J. M., Boniface, S., & Watkins, S. (2014). *Health implications of transport planning, development and operations*. Journal of Transport and Health, 1(1), 63–72. <http://doi.org/10.1016/j.jth.2013.12.004>
- Cohen, T., Jones, P., & Cavoli, C. (2017). *Social and behavioural questions associated with automated vehicles*. Scoping study, (January), 91.
- Comin, D., & Hobijn, B. (2010). *An Exploration of Technology Diffusion*. J. Klenow and Andrés Rodríguez-Clare, 100(December), 2031–2059. <http://doi.org/10.1257/aer.100.5.2031>
- Comin, D., & Mestieri, M. (2010). *The Intensive Margin of Technology Adoption*. Ssrn, 1–44. <http://doi.org/10.2139/ssrn.1676302>
- Correia, G. H. de A., & van Arem, B. (2017). *Estimating urban mobility patterns under a scenario of automated driving: results from a model application to Delft, the Netherlands*, (250), 1–20.
- Crawford, S. (2018). *Autonomous Vehicles Might Drive Cities to Financial Ruin*. Retrieved February 25, 2019, from <https://www.wired.com/story/autonomous-vehicles-might-drive-cities-to-financial-ruin/>
- Curry, C. (2017). *Lithium-ion Battery Costs and Market*.
- Danesi, R., Gruny, P., Jourda, G., & Médevielle, P. (2017). *Rapport d'information au Sénat*.
- Darbéra, R. (2015). *Principles for the regulation of for-hire road transport passenger services*.
- Dargay, J., & Gately, D. (1999). *Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2015*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33(2), 101–138. [http://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00026-3](http://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00026-3)
- David, M. (2008). *The limits to travel. How Far Will You Go?*

- Davidson, P., & Spinoulas, A. (2015). *Autonomous Vehicles-What Could This Mean for the Future of Transport?* Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference. Retrieved from <http://transposition.com.au/papers/AutonomousVehicles.pdf>
- Daziano, R. A., Leard, B., & Sarrias, M. (2016). *Willing to Pay to Let Cars Drive for Them? Analyzing Response to Autonomous Vehicles*, (August).
- Delbosc, A., & Currie, G. (2011). *The spatial context of transport disadvantage, social exclusion and well-being*. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1130–1137. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.04.005>
- Deloitte. (2016a). *Insuring the future of mobility. The insurance industry's role in the evolving transportation ecosystem*.
- Deloitte. (2016b). *The future of mobility: What's next?*
- Deloitte. (2017). *Framing the future of mobility*. Deloitte Review, (20).
- Demirguc-Kunt, Asli. Klapper, Leora. Singer, Dorothe. Oudheusden, P, V. (2015). *The Global Findex Database 2014: Measuring Financial Inclusion around the World*. World Bank Policy Research Working Paper 7255, (April), 1–88. <http://doi.org/10.1596/1813-9450-7255>
- Diels, C., & Bos, J. E. (2016). *Self-driving carsickness*. *Applied Ergonomics*, 53, 374–382. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.09.009>
- Dijkstra, L., & Poelman, H. (2014). *A harmonised definition of cities and rural areas: the new degree of urbanisation*. *Regional and Urban Policy*, 28. Retrieved from http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/2014_01_new_urban.pdf
- Dowling, R., Maalsen, S., & Kent, J. L. (2018). *Sharing as sociomaterial practice: Car sharing and the material reconstitution of automobility*. *Geoforum*. <http://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.11.004>
- Dudley, G., Banister, D., & Schwanen, T. (2017). *The Rise of Uber and Regulating the Disruptive Innovator*. *Political Quarterly*. <http://doi.org/10.1111/1467-923X.12373>
- Durantón, G., & Turner, M. A. (2012). *Urban growth and transportation Urban growth and transportation*, 79, 1–36.
- Eckhardt, G. M., & Bardhi, F. (2015). *The sharing economy isn't about sharing at all*. *Harvard Business Review*, 28(01).
- Ecola, L., Rohr, C., Zmud, J., Kuhnimhof, T., & Phleps, P. (2014). *the Future of Driving in Developing Countries*. *Rand*. <http://doi.org/10.1214/07-EJS057>
- Ecola, L., Zmud, J., Gu, K., Phleps, P., & Feige, I. (2015). *The Future of Mobility. Scenarios for China in 2030*.
- Edinger, K., & Lewis, R. (2017). *Transportation Revenue and Autonomous Vehicles UO School of Planning, Public Policy and Management Public Budget Administration*. Retrieved from https://static1.squarespace.com/static/59ea2e51e5dd5ba9f8646cdc/t/5b00784f2b6a-285b39a0aed2/1526757525768/Session+1C+AVs+Budgetary+and+Financial+Implications+for+Cities_Edinger.pdf

- ETRAC. (2015). Automated Driving Roadmap. http://www.etrac.org/uploads/documentsearch/id38/ETRAC_Automated-Driving-2015.pdf
- European Commission. (n.d.). Global Human Settlement. Retrieved February 19, 2019, from <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2013). Preparing a nation for autonomous vehicles. *Transportation Research Part A Journal*, 77(October), 1–32. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-based Model Scenarios. *Transportation Research Part C*, 40, 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Federal Communications Commission. (1999). FCC Allocates Spectrum 5.9 GHz Range for Intelligent Transportation Systems Uses. Retrieved November 16, 2018, from https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/1999/nret9006.html
- Fernández L., J. E., De Cea Ch, J., & Briones M., J. (2006). A diagrammatic analysis of the market for cruising taxis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(6), 498–526. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2005.05.001>
- Ferrero, F., Perboli, G., Rosano, M., & Vesco, A. (2018). Car-sharing services: An annotated review. *Sustainable Cities and Society*. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.020>
- Firnkorn, J., & Müller, M. (2015). Free-floating electric carsharing-fleets in smart cities: The dawning of a post-private car era in urban environments? *Environmental Science and Policy*, 45, 30–40. <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.09.005>
- Flores, O., & Rayle, L. (2017). How cities use regulation for innovation: The case of Uber, Lyft and Sidecar in San Francisco. In *Transportation Research Procedia*. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.232>
- Fulton, L., Mason, J., & Meroux, D. (2017). *Transportation Three Revolutions in Urban Transportation*. Phillippe Crist (ITF)World Bank; Tim Wallington (Ford Anthony EggertClimateWorks Margarita Parra (Hewlett FoundationJ Knapp Communications. Retrieved from <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2017/04/UCD-ITDP-3R-Report-FINAL.pdf>
- García-López, M. Á., & Moreno-Monroy, A. I. (2016). Income Segregation and Urban Spatial Structure: Evidence From Brazil. CAF-Development Bank of Latin America. Retrieved from [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/957/García-López %26 Moreno-Monroy \(2016\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/957/García-López_%26_Moreno-Monroy_(2016).pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gartner. (2018). 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018 - Smarter With Gartner. Retrieved November 16, 2018, from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>
- GaWC. (2012). The World According to GaWC 2012. Retrieved November 20, 2018, from <https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2012t.html>
- Ge, W., Shao, D., Xue, M., Zhu, H., & Cheng, J. (2017). Urban Taxi Ridership Analysis in the Emerging Metropolis: Case Study in Shanghai. In *Transportation Research Procedia*. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.368>

- Gelauff, G., Ossokina, I., & Teulings, C. (2017). Spatial effects of automated driving: dispersion, concentration or both?, 1–11. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-1743-9>
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2003). *Sprawl and Urban growth*, IV.
- Glaeser, E. L., & Shapiro, J. M. (2001). *Cities and Warfare: The Impact of Terrorism on Urban Form*, (1942).
- Goodall, N. J., Smith, B. L., & Park, B. B. (2013). Traffic Signal Control with Connected Vehicles, 2381, 65–72.
- Gordon, B., Kaplan, S., El Zarwi, F., Walker, J., & Zilberman, D. (2018). *The Future of Autonomous Vehicles: Lessons from the literature on technology adoption* (Vol. 0003).
- Goytia, C., & Sanguinetti, P. (2017). Hay espacio para crecer: uso del suelo y estructura urbana. In *Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina*.
- Greene, D. L., & Plotkin, S. E. (2011). Reducing Greenhouse Gas Emissions from U.S. Transportation. *Global Greenhouse Gas Emissions Data*, (January). <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05178-2>
- GSM Association. (2017). *The Mobile Economy Latin America and the Caribbean 2017*. Retrieved from <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=e14ff2512ee244415366a89471bcd3e1&download>
- Gucwa, M. (2014). Mobility and energy impacts of automated cars. In *Automated vehicle symposium*, San Francisco, CA.
- Guerra, E., Caudillo, C., Goytia, C., Quiros, T. P., & Rodriguez, C. (2018). Residential location, urban form, and household transportation spending in Greater Buenos Aires. *Journal of Transport Geography*, 72(February), 76–85. <http://doi.org/10.1016/J.JTRANGEO.2018.08.018>
- Hablemosdecoches.com. (2018). LIDAR, los ojos de los coches autónomos - Hablemos de coches. Retrieved November 16, 2018, from <http://hablemosdecoches.com/2018/04/30/lidar-los-ojos-de-los-coches-autonomos/>
- Haboucha, C. J., Ishaq, R., & Shiftan, Y. (2017). User preferences regarding autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 37–49. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.010>
- Hall, J. V, & Krueger, A. B. (2015). an Analysis of the Labor Market for Uber’S Driver-Partners in the United States. <http://doi.org/10.1177/0019793917717222>
- Handy, S., & Boarnet, M. G. (2014). Impact of Highway Capacity and Induced Travel on Passenger Vehicle Use and Greenhouse Gas Emissions.
- Harari, Y. (2018). *21 lecciones para el siglo XXI* (Ed. Debate). Buenos Aires.
- Harper, C. D., Hendrickson, C. T., & Samaras, C. (2016). Estimating Potential Increases in Travel with Autonomous Vehicles for the Non-Driving, Elderly and People with Travel-Restrictive

- Medical Conditions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 72(November), 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2016.09.003>
- IHHS. (2010). Estimates of crash avoidance benefits. Retrieved February 12, 2019, from <https://www.iihs.org/iihs/news/statusreport/article/45/5/2>
- IHS Markit. (2014). Self-Driving Cars Moving into the Industry's Driver's Seat | IHS Markit Online Newsroom. Retrieved January 30, 2019, from <https://news.ihsmarket.com/press-release/automotive/self-driving-cars-moving-industrys-drivers-seat>
- IHS Markit. (2018). Autonomous Vehicle Sales to Surpass 33 Million Annually in 2040, Enabling New Autonomous Mobility in More Than 26 Percent of New Car Sales. Retrieved November 20, 2018, from <https://technology.ihs.com/599099/autonomous-vehicle-sales-to-surpass-33-million-annually-in-2040-enabling-new-autonomous-mobility-in-more-than-26-percent-of-new-car-sales-ihs-market-says>
- International Energy Agency. (2018). Global EV Outlook 2018. Towards cross-modal electrification. Retrieved from <https://webstore.iea.org/download/direct/1045?filename=globale-voutlook2018.pdf>
- Isaac, E. (2014). Disruptive innovation: Risk-shifting and precarity in the age of Uber. Berkeley Roundtable on the International Economy,[University of California, Berkeley].
- Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (1996). The Compact City: A Sustainable Urban Form?
- Johnson, C., & Walker, J. (2016). Peak car ownership report. Rocky Mountain Institute. Retrieved from <https://www.rmi.org/insights/reports/peak-car-ownership-report/>
- Kalra, N. (2017). Challenges and Approaches to Realizing Autonomous Vehicle Safety.
- Kalra, N., & Groves, D. G. (2017). The Enemy of Good. Estimating the cost of waiting for nearly perfect Automated Vehicles.
- Kamal, M. A. S., & Imura, J. (2015). A Vehicles-Intersection Coordination Scheme for Smooth Flows of Traffic without Using Traffic Lights, (June). <http://doi.org/10.1109/TITS.2014.2354380>
- Khreis, H., May, A. D., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2017). Health impacts of urban transport policy measures: A guidance note for practice. *Journal of Transport and Health*, 6(June), 209–227. <http://doi.org/10.1016/j.jth.2017.06.003>
- Kim, B., Pourrahmani, E., & Fagnant, D. J. (2017). Potential Benefits and Cost of Connected and Automated Vehicles: Texas Case Study. 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 5, 1–16.
- Kim, K., Baek, C., & Lee, J. D. (2018). Creative destruction of the sharing economy in action: The case of Uber. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.014>
- Kloostra, B., & Roorda, M. J. (2016). Fully Autonomous vehicles: Analyzing transportation network performance and operating scenarios in the greater Toronto Area, Canada.
- KPMG. (2015). Marketplace of change: Automobile insurance in the era of autonomous vehicles, (October), 52. Retrieved from <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/06/id-market-place-of-change-automobile-insurance-in-the-era-of-autonomous-vehicles.pdf>

- KPMG. (2017). Islands of autonomy. Retrieved from <http://www.kpmg-institutes.com/content/dam/kpmg/manufacturing-institute/pdf/2017/islands-of-autonomy-web.pdf>
- Krantz, J. (2018). Mobility-as-a-Service from a health perspective. TUDelft.
- Kröger, F. (2016). Automated Driving in Its Social, Historical and Cultural Contexts. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Eds.), *Autonomous Driving*.
- Krueger, R., Rashidi, T. H., & Rose, J. M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69, 343–355. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2016.06.015>
- Kyriakidis, M., Happee, R., & De Winter, J. C. F. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127–140. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.014>
- Lancot, R. (2017). Accelerating the Future: The Economic Impact of the Emerging Passenger Economy Autonomous. *Autonomous Vehicle Service*, (June), 1–30. Retrieved from www.strategyanalytics.com
- Lavasani, M., Asgari, H., Jin, X., & Pinjari, A. R. (2017). Investigating Willingness to Pay for Autonomous Vehicles and the Likelihood of Residential Relocation. *TRB Annual Meeting*, (813).
- Lavieri, P. S., Garikapati, V. M., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., Astroza, S., & Dias, F. F. (2017). Modeling individual preferences for ownership and sharing of autonomous vehicle technologies.
- Leimenstoll, W. (2017). Autonomous vehicles could have a big impact on D.C.'s budget. Retrieved February 21, 2019, from <https://www.dcpolicycenter.org/publications/autonomous-vehicles-could-have-a-big-impact-on-d-c-s-budget/>
- Levin, M. W., & Boyles, S. D. (2015). Effects of autonomous vehicle ownership on trip, mode, and route choice. *Transportation Research Board Annual Meeting 2015*, (January).
- Levy, C. (2013). Travel choice reframed: “deep distribution” and gender in urban transport. *Environment and Urbanization*, 25(1), 47–63. <http://doi.org/10.1177/0956247813477810>
- Levy Yeyati, E. (2018). Después del trabajo. El empleo argentino en la cuarta revolución industrial (Sudamerica). Buenos Aires.
- Li, T., & Kockelman, K. M. (2016). Valuing the safety benefits of connected and automated vehicle technologies, 1–22.
- Lioris, J., Pedarsani, R., Tascikaraoglu, F. Y., & Varaiya, P. (2017). Platoons of connected vehicles can double throughput in urban roads, 1–20.
- Litman, T. (2017). Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. *Transportation Research Board Annual Meeting*, 42(2014), 36–42. <http://doi.org/10.1613/jair.301>
- Litman, T. (2018). Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. *Transportation Research Board Annual Meeting*. <http://doi.org/10.1613/jair.301>

- López Briega, R. E. (2017). Introducción al Deep Learning. Retrieved December 11, 2018, from <https://relopezbriega.github.io/blog/2017/06/13/introduccion-al-deep-learning/>
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., & Guzman, A. (2016). Transport Poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 169, 353–365.
- Malokin, A., Circella, G., & Mokhtarian, P. L. (2015). How Do Activities Conducted while Commuting Influence Mode Choice? Testing Public Transportation Advantage and Autonomous Vehicle Scenarios, 1–15.
- Marbjerg, G. (2013). Noise from electric vehicles. Retrieved from [https://leo.mech.pg.gda.pl/sites/leo.mech.pg.gda.pl/files/files/Noise from electric vehicles -in13_0080.pdf](https://leo.mech.pg.gda.pl/sites/leo.mech.pg.gda.pl/files/files/Noise%20from%20electric%20vehicles%20-in13_0080.pdf)
- Marchetti, C. (1994). Anthropological Invariants in Travel Behavior.
- Mares, R., Stix, C., & Dewey, S. (2018). How Autonomous Vehicles Will Drive Our Budgets. An Analysis of the Economic and Fiscal Impacts of Self-driving Cars on the Commonwealth of Massachusetts. Retrieved from www.clf.org.
- Margo, R. A. (1992). Explaining the postwar suburbanization of population in the United States: The role of income. *Journal of Urban Economics*, 31(3), 301–310. [http://doi.org/10.1016/0094-1190\(92\)90058-S](http://doi.org/10.1016/0094-1190(92)90058-S)
- Martens, K., Golub, A., & Robinson, G. (2012). A justice-theoretic approach to the distribution of transportation benefits: Implications for transportation planning practice in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 684–695. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2012.01.004>
- Martin, E., & Shaheen, S. (2016). Impacts of Car2Go on vehicle ownership, modal shift, vehicle miles traveled, and greenhouse gas emissions: an analysis of five North American Cities. Transportation Sustainability Research Center, UC Berkeley.
- Massachusetts Institute of Technology. (n.d.). The Moral Machine. Retrieved February 13, 2019, from <http://moralmachine.mit.edu/hl/es>
- McGrath, F. (2015). The demographics of Uber's US users. In: GlobalWebIndex. Retrieved from <https://blog.globalwebindex.com/chart-of-the-day/uber-demographics/>
- McKinsey&Company. (2016). Automotive Revolution and Perspective Towards 2030. *Auto Tech Review* (Vol. 5).
- McKinsey&Company. (2017a). Analyzing start-up and investment trends in the mobility ecosystem, 1–8.
- McKinsey&Company. (2017b). Self-driving car technology: When will the robots hit the road? | McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/self-driving-car-technology-when-will-the-robots-hit-the-road>
- McKinsey&Company, & Bloomberg. (2016). An integrated perspective on the future of mobility. McKinsey Insights. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/an-integrated-perspective-on-the-future-of-mobility>

- Meyer, G., & Beiker, S. (2016). Road Vehicle Automation Lecture Notes in Mobility 3. Lecture Notes in Mobility Road Vehicle Automation. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-40503-2>
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles The next jump in accessibilities? *Research in Transportation Economics* (2017), 9(2), 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.03.005>
- Mikulík, J., Holló, P., Degener, S., Mdawarima, T., Kowalski, K., & Elsenaar, P. (2013). Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers.
- Milakis, D., Snelder, M., Arem, B. Van, Wee, B. Van, & Correia, G. H. de A. (2016). Scenarios about development and implications of automated vehicles in the Netherlands. 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Milakis, D., Van Arem, B., & Van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 21(4), 324–348. <http://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>
- Millard-ball, A. (2019). The autonomous vehicle parking problem. *Transport Policy*, 75(January), 99–108. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.01.003>
- Millard-Ball, A. (2016). Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities. *Journal of Planning Education and Research*, 0739456X1667567. <http://doi.org/10.1177/0739456X16675674>
- Mokhtarian, P. L., & Salomon, I. (2001). How derived is the demand for travel? Some conceptual and measurement considerations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(8), 695–719. [http://doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00013-6](http://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00013-6)
- Morgan Stanley. (2013). Autonomous Cars: Self-Driving the New Auto Industry Paradigm. Morgan Stanley Blue Paper.
- Mueller, N., Dadvand, P., Rojas-Rueda, D., Valentín, A., Gascon, M., Donaire-Gonzalez, D., ... Foraster, M. (2017). Health impacts related to urban and transport planning: A burden of disease assessment. *Environment International*, 107(February), 243–257. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2017.07.020>
- Muller, P. O. (2004). Transportation and Urban Form - Stages in the Spatial Evolution of the American Metropolis. *The Geography of Urban Transportation*.
- NACTO National Association for City Transportation Officials. (2017). Blueprint for Autonomous Urbanism, 60.
- National Research Council. (2013). Transitions to Alternative Vehicles and Fuels. <http://doi.org/10.17226/18264>
- Nguyen, M. T., & Boundy, E. (2017). Seeing Cities Through Big Data, (January), 517–542. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-40902-3>
- Nichols, B. G., Kockelman, K. M., & Reiter, M. S. (2015). Air quality impacts of electric vehicle adoption in Texas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 208–218. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.016>

- Nourinejad, M., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B*, 109, 110–127. <http://doi.org/10.1016/j.trb.2017.12.017>
- OECD - International Transport Forum. (2015). Automated and Autonomous Driving Regulation under Uncertainty. *International Transport Forum*, 32. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/5jlwvzdfk640-en>
- OECD - International Transport Forum. (2017a). ITF Transport Outlook 2017. <http://doi.org/10.1787/9789282108000-en>
- OECD - International Transport Forum. (2017b). Shared Mobility Simulations for Auckland.
- ONU. (2016). The World's Cities in 2016.
- Orfeuill, J. (2017). Les villes et l'irruption des véhicules autonomes, 1–17.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Global Status Report on Road Safety.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). Modelling transport.
- Oviedo-Dávila, N. (2017). Does proximity to massive transport systems reduce the probability of being informally employed? Evidence from Bogotá.
- Palmer, R. C., Ismond, D., Rodriguez, E. J., & Kaufman, J. S. (2019). Social Determinants of Health: Future Directions for Health Disparities Research. *American Journal of Public Health*, 109(S1), S70–S71. <http://doi.org/10.2105/ajph.2019.304964>
- Patrick, M. (2018). V2X communications – LTE versus DSRC | eeNews Automotive. Retrieved January 15, 2019, from <http://www.eenewsautomotive.com/design-center/v2x-communications-lte-versus-dsrc-0/page/0/1>
- Poushter, J. (2016). Smartphone ownership and internet usage continues to climb in emerging economies.
- Preston, J., & Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, 15(3), 151–160. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002>
- Qu, H., Barrett, J., Fagnant, D. J., Kockelman, K., & LaMondia, J. J. (2016). Shifts in Long-Distance Travel Mode Due to Automated Vehicles: Statewide Mode-Shift Simulation Experiment and Travel Survey Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2566(1), 1–11. <http://doi.org/10.3141/2566-01>
- Quirós, T. P., & Mehndiratta, S. R. (2015). Accessibility Analysis of Growth Patterns in Buenos Aires, Argentina. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2512(2512), 101–109. <http://doi.org/10.3141/2512-12>
- Raposo M., A., Grosso, M., Després, J., Fernández Macías, E., Galassi, C., Krasenbrink, A., ... Ciufo, B. (2018). An analysis of possible socio-economic effects of a Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) in Europe. Effects of automated driving on the economy, employment and skills.
- Rau, P., Yanagisawa, M., & Najm, W. G. (2015). Target Crash Population of Automated Vehicles Paul Rau, 1–11.

- Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R., & Shaheen, S. (2016a). sTransport Policy. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.004>
- Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R., & Shaheen, S. (2016b). *Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco*. *Transport Policy*, 45, 168–178. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.004>
- Rienstra, S., Bakker, P., & Visser, J. (2015). *International Comparison of Taxi Regulations and Uber*, (November), 44. Retrieved from <http://www.kimnet.nl/sites/kimnet.nl/files/international-comparison-of-taxi-regulations-and-uber.pdf>
- Rifkin, J. (2014). *La sociedad de coste marginal cero*. Buenos Aires: Paidós. Retrieved from <https://www.popularlibros.com/archivos/9788449330513.pdf>
- Rivas, M. E., Serebrisky, T., & Suárez-Alemán, A. (n.d.). *How Affordable is transportation in Latin America and the Caribbean?*
- Roberts, M., Blankespoor, B., Deuskar, C., & Stewart, B. (2017). *Urbanization and Development Is Latin America and the Caribbean Different from the Rest of the World?* World Bank Group, (March), 1–37.
- Rodier, C. (2018). *Travel Effects and Associated Greenhouse Gas Emissions of Automated Vehicles* A White Paper from the National Center for Sustainable Transportation About the National Center for Sustainable Transportation.
- Rodríguez Tourón, F. (2019). *Exploring the links between mobility capital and human flourishing in Buenos Aires*. In *Transport, Space and Equity* (Edward Elg). London.
- SAE. (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*.
- Saujot, M., Brimont, L., & Sartor, O. (2018). *Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable*.
- Schaller, B. (2018). *The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities*.
- Schipper, L. (2002). *Sustainable Urban Transport in the 21st Century: A New Agenda*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1792(02), 12–19. <http://doi.org/10.3141/1792-02>
- Schipper, L., & Marie-Lilliu, C. (1999). *Transportation and CO2 emissions: flexing the link - a path for the World Bank. Toward Environmentally and Socially Sustainable Development*, (August 1998), 86. Retrieved from http://go.worldbank.org/3XQDYRJT80%5Cnhttp://www-wds.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64193027&piPK=64187937&theSitePK=523679&menuPK=64187510&searchMenuPK=64187283&siteName=WDS&entityID=000094946_00012505400755
- Schwartz, S., Arcadis, & HR&A. (2017). *Driverless Future a Policy Roadmap for City Leaders*.
- Schwieterman, J. P., Livingston, M., & Van Der Slot, S. (2018). *Partners in transit. A review of partnerships between transportation network companies and public agencies in the United States*.
- SEDAC. (n.d.). *Gridded Population of the World (GPW)*, v4. Retrieved February 19, 2019, from

<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4>

Selwyn, N. (2004). *Reconsidering political and popular understandings of the digital divide*. *New Media and Society*, 6(3), 341–362. <http://doi.org/10.1177/1461444804042519>

Shaheen, S., Camel, M., & Lee, K. (2013). *Exploring the Future of Intelligent Transportation Systems in the United States from 2030 to 2050: Application of a Scenario Planning Tool*. 2013 Transportation Research Board Annual Meeting. Retrieved from <http://trsrc.berkeley.edu/node/609>

Shaheen, S., & Chan, N. (n.d.). *Mobility and the Sharing Economy: Potential to Facilitate the First- and Last-Mile Public Transit Connections*, 573–588.

Shaheen, S., & Chan, N. (2016). *Mobility and the sharing economy: Potential to facilitate the first-and last-mile public transit connections*. *Built Environment*. <http://doi.org/10.2148/benv.42.4.573>

Shaheen, S., Totte, H., & Stocker, A. (2018). *Future of Mobility White Paper*. <http://doi.org/10.7922/G2WH2N5D>

Shires, J. D., & de Jong, G. C. (2009). *An international meta-analysis of values of travel time savings*. *Evaluation and Program Planning*, 32(4), 315–325.

Shladover, S. E., Su, D., & Lu, X. (2012). *Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway Traffic Flow*, (January). <http://doi.org/10.3141/2324-08>

Shoup, D. C. (2009). *The High Cost of Free Parking - a Summary*. *Mobilizing the Region*, (August), 1–6.

Singleton, P. A. (2019). *Discussing the “positive utilities” of autonomous vehicles: will travellers really use their time productively?* *Transport Reviews*, 39(1), 50–65. <http://doi.org/10.1080/01441647.2018.1470584>

Sivak, M., & Schoettle, B. (2016). *Would Self-Driving Vehicles Increase Occupant Productivity?*, (September).

Smith, B. W. (2017). *Automated Driving and Product Liability*. *Michigan State Law Review*, 1–74. <http://doi.org/10.3868/s050-004-015-0003-8>

Smith, B. W., & Carolina, S. (2016). *Select Legal Considerations for Shared Automated Driving*.

Sobczak, D. (2016). *Taxis versus Uber: The Regulations, the People, the Money and the Future*, (184).

Sochor, J., Sarasini, S., & Karlsson, M. (2017). *A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals*. *ICoMaaS Proceedings*, (November), 187–208. Retrieved from https://www.viktoria.se/sites/default/files/pub/viktoria.se/upload/publications/sochor_et_al._2017.pdf

Soteropoulos, A., Berger, M., & Ciari, F. (2019). *Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies*. *Transport Reviews*, 39(1), 29–49. <http://doi.org/10.1080/01441647.2018.1523253>

Spectrum. (2014). *How Google’s Autonomous Car Passed the First U.S. State Self-Driving Test*

- IEEE Spectrum. Retrieved November 16, 2018, from <https://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/how-googles-autonomous-car-passed-the-first-us-state-selfdriving-test>
- Spieser, K., Ballantyne, K., Morton, D., Pavone, M., Treleven, K., & Frazzoli, E. (2014). *Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems*. A Case Study in Singapore, 0–16.
- Stanley, J., & Vella-Brodrick, D. (2009). *The usefulness of social exclusion to inform social policy in transport*. *Transport Policy*, 16(3), 90–96. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.02.003>
- Steck, F., Kolarova, V., Bahamonde-Birke, F. J., Trommer, S., & Lenz, B. (2018). *How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings*, 1–18.
- Steg, L. (2005). *Car use: Lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2–3 SPEC. ISS.), 147–162. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2004.07.001>
- Steg, L., Vlek, C., & Slotegraaf, G. (2001). *Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 4(3), 151–169. [http://doi.org/10.1016/S1369-8478\(01\)00020-1](http://doi.org/10.1016/S1369-8478(01)00020-1)
- Stephens, T. S., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C., & Gohlke, D. (2016). *Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles*, (NREL/TP-5400-67216), 1–58. Retrieved from <http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67216.pdf>
- Stocker, A., & Shaheen, S. (2018). *Shared Automated Vehicle (SAV) Pilots and Automated Vehicle Policy in the U.S.: Current and Future Developments* (pp. 131–147). Springer, Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-319-94896-6_12
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, M., & Nilsson, L. (2014). *Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures*, (February 2019). <http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.005>
- Taylor, M. (2016). *Self-Driving Mercedes-Benzes Will Prioritize Occupant Safety over Pedestrians* – News – Car and Driver. Retrieved February 20, 2019, from <https://www.caranddriver.com/news/a15344706/self-driving-mercedes-will-prioritize-occupant-safety-over-pedestrians/>
- Thakur, P., Kinghorn, R., & Grace, R. (2016). *Urban form and function in the autonomous era*. Australasian Transport Research Forum Proceedings, (November), 1–15. Retrieved from <http://www.atrf.info/papers/index.aspx>
- The Boston Consulting Group. (2015). *Revolution in the Driver's Seat: The Road to Autonomous Vehicles*. Retrieved January 29, 2019, from <https://www.bcg.com/publications/2015/automotive-consumer-insight-revolution-drivers-seat-road-autonomous-vehicles.aspx>
- The Boston Consulting Group. (2016). *Self-Driving Vehicles, Robo-Taxis, and the Urban Mobility Revolution*.
- The Boston Consulting Group. (2018). *The Electric Car Tipping Point - The Future of Powertrains for Owned and Shared Mobility*. The Boston Consulting Group, 18.
- The Milwaukee Sentinel, 8/12/1926. (1926). *Phantom auto will tour city*. Retrieved November 7,

2018, from <https://news.google.com/newspapers?id=unBQAAAAIBAJ&sjid=QQ8EAAAAIBAJ&pg=7304,3766749>

The Washington Post. (2014). *Taxi medallions have been the best investment in America for years. Now Uber may be changing that.* June, 20.

The World Bank, & Institute for Health Metrics and Evaluation. (2014). *Transport for Health: The global burden of disease from motorized road transport.* The World Bank Group / University of Washington (Vol. 1).

Torres, H. (2004). *Procesos recientes de fragmentación socioespacial en Buenos Aires: la suburbanización de las élites.* Retrieved February 12, 2019, from <http://www.mundourbano.unq.edu.ar/index.php/ano-2000/39-numero-3-julio/46-4procesos-recientes-de-fragmentacion-socioespacial-en-buenos-airesla-suburbanizacion-de-las-elites>

Townsend, A. (2014). *Re-Programming Mobility.*

Transport Systems Catapult. (2016). *Planning and Preparing for Connected and Automated Vehicles.* Retrieved from <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.ts.catapult/wp-content/uploads/2016/10/06145942/PPCAV.pdf>

Transport Systems Catapult. (2017). *Market Forecast for connected and autonomous vehicles.*

Turck, M. (2018). *State Of Autonomy: May Recap – Mitch Turck – Medium.* Retrieved November 16, 2018, from <https://medium.com/@mitchturck/state-of-autonomy-may-recap-9c2cd3c38b69>

U.S. Department of Transportation. (2015). *Benefits Estimation Framework for Automated Vehicle Operations, (August).* Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1370427>

UITP. (2017). *Autonomous Vehicles: A potential game changer for urban mobility,* 1–8.

United Nations. (2012). *Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP.29).*

UNSW Sydney. (n.d.). *The Machine Learning Dictionary.* Retrieved December 11, 2018, from <http://www.cse.unsw.edu.au/~billw/mldict.html#firstN>

van den Berg, V. A. C., & Verhoef, E. T. (2016). *Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion: The effects on capacity, value of time and preference heterogeneity.* Transportation Research Part B: Methodological, 94, 43–60. <http://doi.org/10.1016/j.trb.2016.08.018>

Viegas, J., Martínez, L. M., Crist, P., & Masterson, S. (2016). *Shared Mobility. Innovation for Liveable Cities.* International Transport Forum's Corporate Partnership Board, 1–56.

Voith, R. (1999). *Does the Federal Tax Treatment of Housing Affect the Pattern of Metropolitan Development?* Federal Reserve Bank of Philadelphia Business Review, (March), 3–16.

Wadud, Z. (2017). *Fully Automated, Driverless Vehicles: Total Costs of Ownership Analysis to Identify Early Adopters in the United Kingdom,* 2017(0).

Wadud, Z., MacKenzie, D., & Leiby, P. (2016). *Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 86, 1–18. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2015.12.001>

- Wallbank, C., Durrell, L., & Hynd, D. (2017). *Potencial de los estándares de seguridad vehicular para evitar muertes y lesiones en América Latina*.
- Watanabe, C., Naveed, K., & Neittaanmäki, P. (2016). *Co-evolution of three mega-trends nurtures un-captured GDP - Uber's ride-sharing revolution*. *Technology in Society*. <http://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.06.004>
- Welch, T. F. (2013). Equity in transport: *The distribution of transit access and connectivity among affordable housing units*. *Transport Policy*, 30, 283–293. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.09.020>
- Willumsen, L. G., & Kohli, S. (2016). *Traffic forecasting and autonomous vehicles*. European Transport Conference, 1–14.
- Woodcock, J., Franco, O. H., Orsini, N., & Roberts, I. G. (2010). *Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies.*, 0–26.
- World Economic Forum, & The Boston Consulting Group. (2018). *Reshaping Urban Mobility with Autonomous Vehicles Lessons from the City of Boston*. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEF_Reshaping_Urban_Mobility_with_Autonomous_Vehicles_2018.pdf
- Woyke, E. (2018). *How 5G connectivity and new technology could pave the way for self-driving cars*. Retrieved January 15, 2019, from <https://www.technologyreview.com/s/611883/how-5g-connectivity-and-new-technology-could-pave-the-way-for-self-driving-cars/>
- Zakharenko, R. (n.d.). *Self-Driving Cars Will Change Cities*.
- Zhang, W. (2017). *The interaction between land use and transportation in the era of shared autonomous vehicles: A simulation model*, (August).
- Zhang, W., & Guhathakurta, S. (2017). *Parking spaces in the age of shared autonomous vehicles: How much parking will we need and where?* TRB 2017 Conference Paper, (January).
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., & Zhang, G. (2015). *Exploring the Impact of Shared Autonomous Vehicles on Urban Parking Demand: An Agent-based Simulation Approach*.
- Zmud, J., Sener, I. N., & Wagner, J. (2016). *Self-Driving Vehicles: Determinants of Adoption and Conditions of Usage*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2565(1), 57–64. <http://doi.org/10.3141/2565-0>

VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Una revisión bibliográfica sobre su impacto
en la movilidad de las ciudades de la región

