

VEHÍCULOS AUTÓNOMOS, FORMA URBANA Y NUEVOS ENFOQUES DE PLANIFICACIÓN BACKCASTING: UNA REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES RECIENTES

Soledad Nogués

Profesora Titular de Urbanística y Ordenación del Territorio, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España

Esther González González

Profesora Ayudante Doctor de Urbanística y Ordenación del Territorio, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España

Rubén Cordera

Investigador contratado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España

José Luis Moura

Profesor Titular de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, España

RESUMEN

La introducción de vehículos autónomos (VA) en los próximos años implicará un cambio disruptivo que no sólo va a afectar a la movilidad, sino que podría tener un considerable impacto en las ciudades y el conjunto del territorio.

Los principales efectos esperados se derivan de las oportunidades de regeneración de zonas urbanas previamente asignadas al tráfico y aparcamiento, y su potencial para aumentar la dispersión urbana debido a la mejora de la accesibilidad. En el momento actual estamos en un periodo crítico de transición en el que, para garantizar que su implantación tenga los efectos deseados en las ciudades/territorios, es necesario desarrollar nuevos enfoques de planificación que permitan a las administraciones identificar con suficiente antelación las políticas clave para encajar los nuevos sistemas de transporte y formas de movilidad con la visión que tenemos de las ciudades del futuro.

El objetivo de este artículo es revisar el estado actual de los cambios tecnológicos ligados a los VA, las investigaciones sobre sus implicaciones para el transporte y el desarrollo urbano y, más detalladamente, las recientes aproximaciones de planificación backcasting presentes en la literatura en el marco de los diversos esquemas de construcción de escenarios.

La revisión de estudios que emplean este tipo de planificación, basada en la creación de escenarios ideales y la identificación de medidas y políticas necesarias para alcanzar el futuro deseado, se realiza de manera sistemática mediante una búsqueda de palabras clave en las

principales bases de datos internacionales (WoS, Scopus y Google Scholar), complementada con técnicas de bola de nieve hacia adelante y hacia atrás.

Frente a otros métodos de planificación, la metodología backcasting aplicada a estudios de VA es más novedosa y está comenzando a emplearse con fuerza, si bien solo desde muy recientemente y enfocada sobre todo a su primera fase, consistente en establecer la visión del futuro. Asimismo, los estudios realizados hasta ahora resaltan su carácter más proactivo y más adecuado ante cambios significativos que requieren políticas distintas de las usuales para lograr el escenario de futuro deseado a largo plazo.

1. INTRODUCCIÓN

La introducción de las tecnologías de conducción autónoma es vista como la siguiente revolución que puede producirse tanto en el campo del transporte como en el funcionamiento de las ciudades y los territorios. Históricamente las innovaciones en el campo de la movilidad, del tranvía al coche particular, han tenido un profundo impacto en la forma urbana, permitiendo una extensión de las ciudades más allá de su centro tradicional (Rodríguez, 2020). Por lo tanto, es posible que esta nueva forma de movilidad incentive cambios importantes, tanto en la manera en la que las personas realizan sus desplazamientos cotidianos como en la elección de sus lugares de residencia y trabajo, y que todo ello conlleve importantes transformaciones en la forma urbana.

Los Vehículos Autónomos (VA) no son una hipótesis tecnológica futura, sino que en gran medida son una realidad actual que ya está presente en los *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) de vehículos convencionales, así como en desarrollos tecnológicamente más complejos como los realizados por empresas como Tesla Inc. o Waymo en Estados Unidos. Los efectos de la automatización y la conectividad del transporte de viajeros y de mercancías pueden ser múltiples, desde impactos más directos en el transporte debidos a incrementos en la capacidad de las infraestructuras o impactos en la reducción de los costes del viaje o en la partición modal de las distintas áreas urbanas, hasta cambios en la estructura y la morfología urbana derivados de nuevas pautas de localización de hogares y empresas o de la reestructuración del espacio físico de las ciudades dedicado al desplazamiento y al estacionamiento de los vehículos (Milakis et al., 2017b).

El hecho de que estos cambios puedan ir en múltiples direcciones y ser muy significativos ha llevado a plantear la necesidad de planificar la implantación de los VA de forma ordenada. Por ello distintos investigadores y expertos han recurrido a métodos de planificación basados en técnicas diversas, entre las que se encuentra, como una de las más destacadas, la metodología conocida como backcasting (Dreborg, 1996). Este método de planificación tiene un fuerte componente normativo, ya que busca definir en primer lugar cuál es el futuro deseado, en este caso del sistema urbano o territorial. Además, la planificación backcasting puede plantear también cuáles serían las políticas más efectivas para alcanzar ese futuro

deseado, así como la organización de las mismas en el tiempo, es decir, qué políticas habría que aplicar en las diferentes fases del proceso de planificación (e.g. implementación inicial, consolidación y alcance de la visión deseada).

En el apartado siguiente se revisan las últimas novedades relativas al estado de desarrollo tecnológico de los VA. A continuación, en el apartado 3, se repasan los principales estudios de la literatura especializada sobre los potenciales efectos que estos vehículos podrían tener tanto sobre el transporte como sobre la forma urbana. En el apartado 4 se introducen los enfoques de planificación aplicados a los VA y se analiza especialmente la metodología backcasting, resaltando las fortalezas y debilidades de este tipo de planificación. Finalmente, en el último apartado, se ofrecen las conclusiones obtenidas a partir de los resultados expuestos.

2. ESTADO DEL ARTE SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LOS VA

2.1 Desarrollo tecnológico y comercialización

Las primeras predicciones sobre vehículos capaces de conducirse solos se remontan hasta los años 30 del siglo pasado, pero no es hasta principios de los 80 cuando se realizan las primeras investigaciones y experimentos sobre VA (Anderson et al., 2016; Townsend, 2014). Desde ese momento, el grado de automatización en los vehículos ha ido aumentando progresivamente, a medida que han surgido nuevos avances tecnológicos, pero es realmente durante la última década cuando se ha observado una verdadera apuesta por el desarrollo y futura comercialización de los mismos.

En el año 2014, la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee, 2014) propuso una clasificación sobre los distintos niveles de automatización de los vehículos, denominada J3016, ampliamente aceptada por investigadores, técnicos y fabricantes. En 2018, la SAE actualizó esta clasificación, creando una nueva representación visual para proporcionar nuevos detalles sobre las características de cada uno de los seis niveles de la clasificación. En un primer tramo se encuentran los niveles 0 a 2, en los que el conductor sigue siendo humano, aunque ayudado por sistemas ADAS de asistencia puntual o ante emergencias (nivel 0), de guiado o de control de velocidad de crucero (nivel 1) o de guiado y de control de velocidad de crucero al mismo tiempo (nivel 2). A partir del nivel 3 se produce ya la automatización progresiva en la que el conductor humano no conduce, pero sí puede ser solicitada su intervención en determinadas situaciones (nivel 3), la automatización es completa, aunque sólo en determinados ámbitos y condiciones (nivel 4) y, finalmente, la automatización se produce ya en cualquier tipo de ámbito y condición (nivel 5), incluidas situaciones meteorológicas adversas o entornos urbanos.

En el ámbito de la tecnología de conducción autónoma, tres empresas destacan sobre el resto dado el grado de desarrollo tecnológico y nivel de operación real que han alcanzado. Estas son Waymo (propiedad de Alphabet-Inc./Google), Tesla Inc. y Uber-ATG. Waymo cuenta actualmente con una flota de entre 300 y 400 taxis autónomos operando en varias ciudades del área metropolitana de Phoenix (Arizona) (Hawkins, 2020).

Estos vehículos, que pueden clasificarse en un nivel de automatización según la SAE de entre 3 y 4, pueden ser utilizados por cualquier usuario registrado en su plataforma ofreciendo, por lo tanto, un servicio de taxi autónomo plenamente operativo en condiciones reales, aunque en un área de operación todavía restringida. El sistema requiere que la compañía realice labores de digitalización completa del área en el que van a desplazarse los vehículos mediante tecnología LiDAR. En caso de que surjan dificultades en el desplazamiento de los vehículos, o por la incapacidad de un vehículo para tomar una decisión, un operador humano puede actuar en remoto. La compañía cuenta actualmente con más de 20 millones de millas (32 millones de kilómetros) recorridas en carreteras de EE.UU. (Waymo, 2020).

A diferencia de Waymo, Tesla Inc no actúa como un proveedor de servicios de taxi, sino como un fabricante de vehículos que, entre otras características, tienen capacidad para la conducción autónoma. Los vehículos de Tesla disponen de un sistema para el apoyo a la conducción conocido como Hardware 2 (desde 2016) o Hardware 3 (desde 2019) basado en cámaras, sensores de ultrasonidos y un sistema de radar frontal más económico que el proporcionado por la tecnología de 360 grados de LiDAR. Este sistema permite a los vehículos de Tesla ofrecer ADAS, como el mantenimiento de carril, el control de cruce, al auto-aparcamiento o el reconocimiento automático de las señales de tráfico. El nivel de autonomía alcanzado por los vehículos de Tesla se sitúa entre el 2 y el 3, si bien la compañía asegura que, con la configuración Hardware 3 y nuevas versiones de su software *AutoPilot*, sus vehículos podrán alcanzar los niveles 4 y 5 en pocos años. La compañía ha declarado haber realizado más de 3 billones de millas en las carreteras de EE.UU. mediante el uso de *AutoPilot*, obteniendo información de los usuarios para la mejora del software de Inteligencia Artificial de los vehículos. En materia de seguridad los datos aportados por la empresa registran un accidente por cada 3,45 millones de millas conducidas con *AutoPilot* frente a un accidente cada 1,27 millones de millas en los vehículos conducidos de forma manual y sin medidas de seguridad activas (Tesla Inc, 2020). Sin embargo, hay que tener en cuenta que actualmente el uso del sistema *AutoPilot* de Tesla sólo está autorizado en autopistas, por lo que no es del todo comparable con los datos de conducción manual, ya que estos incluyen también la circulación en carreteras convencionales y en entornos urbanos.

La compañía Uber en su división ATG (*Advanced Technologies Group*) presentó en 2016 su primer servicio de taxis autónomos en el área urbana de Pittsburgh (EE.UU.). El sistema de sensorización de los vehículos Ford estaba basado en 20 cámaras, GPS y un sistema LiDAR (Hook, 2016). En 2017 la compañía empezó a operar en Arizona con nuevos vehículos

Volvo XC90, si bien cada VA sólo estaba autorizado a circular con la presencia de un ingeniero de la empresa en el puesto del conductor como medida de seguridad. Esto no evitó que la compañía tuviera un accidente con un peatón fallecido en 2018. Este y otros factores han provocado que la compañía haya vendido a finales de 2020 su división ATG a la *start-up* Aurora, en la que ha invertido además 400 millones de dólares adicionales (Metz y Conger, 2020).

Aurora no tiene previsto continuar con el desarrollo de taxis autónomos sino de camiones con capacidad autónoma. Por lo tanto, este es uno de los casos más claros de desarrollo tecnológico y comercial en el que la empresa no ha obtenido los resultados esperados por problemas técnicos y legales, por lo que ha preferido la desinversión y reinversión en una compañía externa que le permita acceder a las innovaciones tecnológicas que se vayan produciendo en el campo de la movilidad autónoma, pero asumiendo un menor nivel de riesgo.

2.2 Iniciativas para promover la implantación de VA en España

Aunque a mediados de la pasada década España se situó a la vanguardia de los países europeos con la regularización y la realización de una prueba real de conducción autónoma entre Vigo y Madrid (DGT, 2015; Chapela, 2015), el desarrollo tanto tecnológico como legislativo posterior para la implantación de los VA ha sido en general muy escaso, quedando cada vez más alejado de las prácticas internacionales.

Actualmente, España se sitúa en el puesto 22 de 30 del ranking de países que evalúa, mediante un índice global desarrollado por la firma consultora KPMG, la preparación ante la llegada de los VA (KPMG, 2020). Este índice agrupa 28 indicadores en cuatro categorías relativas al desarrollo político y legislativo (puesto 23 de 30), el desarrollo tecnológico y de la innovación (puesto 23), infraestructura (puesto 15) y aceptación del consumidor (puesto 17). Ante esta valoración, el informe recomienda que España incremente el número de iniciativas y pruebas piloto y desarrolle de su ley de movilidad para fomentar la implantación de los VA.

A nivel tecnológico, tanto en Europa como en España se han llevado a cabo proyectos de adecuación de las infraestructuras a la conducción autónoma. Uno de los más relevantes es *C-Roads* (Kernstock, 2019), al que se incorporó España en 2017 invirtiendo 9 millones de euros, junto con 16 países europeos y otros miembros asociados. *C-Roads* pretende acelerar el despliegue de los *C-ITS* (sistemas de transporte inteligente cooperativos) en Europa y en España a partir del desarrollo de múltiples proyectos piloto. En España se han desarrollado 5 de estos proyectos: DGT 3.0 (de escala nacional), SISCOGA Extended (Vigo), Madrid, Cantábrico y Mediterráneo (DGT, 2017). Estos proyectos piloto se centran en el uso de las tecnologías de comunicación Wi-Fi (ITS-G5) y móvil (3G/4G/5G) para la transmisión de información y la coordinación de los vehículos, incluyendo la presencia de VA.

Entre las iniciativas legislativas que se están desarrollando, en julio de 2020 se presentó a consulta pública el anteproyecto de la Ley de Movilidad Sostenible y Financiación del Transporte, que plantea entre sus objetivos de actuación la regulación de la digitalización y automatización del transporte (MITMA, 2020). Así mismo, a finales de 2020 el Gobierno de España firmó un Memorando de Entendimiento con el Gobierno de Francia para mejorar la interoperabilidad y armonizar la normativa entre ambos países en relación a los vehículos autónomos y conectados (Gobierno de España, 2020).

En lo que respecta a la preparación para la llegada de los VA, destaca la falta de actuación de momento desde el ámbito de la planificación regional y urbana, a pesar de las ya numerosas llamadas de atención realizadas desde el ámbito académico (Cohen y Cavoli, 2019; Milakis et al., 2017a; González-González, 2020; Legacy et al., 2018; Nogués et al., 2020; Papa y Ferreira, 2018), hecho que se agrava considerando el horizonte temporal que abarcan dichos planes. Esto es así no solo en el caso de España, sino prácticamente de todos los países, a excepción de algunas alusiones en documentos americanos, principalmente de planificación del transporte (Dupuis et al., 2015; Freemark et al., 2019; Saghir y Sands, 2020). Esto es debido, en gran medida, a la incertidumbre que tienen los decisores políticos sobre el uso y los impactos positivos y negativos que pueden ocasionar tanto en el transporte, como en los usos de suelo y la morfología urbana estos vehículos (Cavoli et al., 2017; Nogués et al., 2020; Saghir y Sands, 2020).

3. EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE LOS VA

3.1 Efectos sobre el transporte

El sistema de transporte es el ámbito que se va a ver afectado en primer lugar y de manera más directa y contundente por los VA. Es por ello que la literatura científica se ha centrado en tratar de identificar, valorar y cuantificar estos impactos por encima de otros considerados de segundo o tercer orden (Milakis et al., 2017b). Se prevé que los VA tengan importantes efectos sobre el sistema de transporte que pueden afectar tanto al valor del tiempo de viaje percibido por los usuarios como a las distancias de viaje, así como a la partición modal y a la generación de viajes en general, produciendo potencialmente un gran cambio en cómo los usuarios realizarán sus desplazamientos cotidianos. Dado que los VA aún no están disponibles y no se tienen datos empíricos, los estudios que analizan estos efectos aplican principalmente modelos y simulaciones de tráfico, modelos de elección discreta, generalmente basados en encuestas de preferencias declaradas (PD), así como otras técnicas.

Uno de los efectos más citados y discutidos es si existirá y cuál será la magnitud de un cambio en el valor del tiempo de viaje de los conductores. Si se produce una reducción en el valor del tiempo dentro de los vehículos esto se podría traducir en la posibilidad de que los conductores aceptaran realizar viajes más largos. El estudio de estos potenciales cambios se ha llevado a cabo utilizando diversas técnicas como las encuestas de PD y los modelos de elección discreta (Homem de Almeida Correia et al., 2019; Krueger et al., 2016; Steck et al.

2018) o las técnicas de construcción de escenarios y las estimaciones realizadas por expertos (Milakis et al., 2017a).

Ligado por lo tanto al fenómeno anterior, los estudios generalmente han supuesto que podría producirse un incremento de los kilómetros recorridos por los VA (Soteropoulos et al., 2019). Este tipo de estudios han utilizado modelos de simulación del transporte basados en agentes (Fagnant y Kockelman, 2014) o en actividades (Childress et al., 2015) para ofrecer sus estimaciones.

Especialmente relevante es el hecho de si se considera o no que los VA serán utilizados de forma compartida en el viaje (VAC). En este caso, y si un número significativo de viajes fueran realizados en VAC, si bien los vehículos presentes en la carretera se podrían reducir muy significativamente, el número total de kilómetros recorridos por éstos podría aumentar dada la producción de viajes en vacío y la captación de viajes desde otros modos.

El efecto que los VA y los VAC tendrán sobre otros modos de transporte es por lo tanto un tema abierto y crucial para conocer sus efectos desde el punto de vista de la sostenibilidad.

El método más utilizado para estudiar los posibles cambios en la partición modal ha sido la recolección de datos mediante encuestas de PD que permiten la estimación de modelos con los que simular las cuotas de mercado de los modos tradicionales y de los nuevos modos autónomos en diferentes escenarios. Existe el debate de si los VA, y sobre todo los VAC, pueden ser una gran competencia para el transporte público tradicional y para los modos activos (Ashkrof et al., 2019), algo que podría ser muy negativo desde el punto de vista de la movilidad sostenible e incluso de la salud pública.

Por otro lado, la generación de viajes en coche puede verse afectada por dos efectos contrapuestos. Por un lado, los VA pueden suponer, dada su habilidad para la detección de otros vehículos y el movimiento coordinado, un aumento de la capacidad de las infraestructuras de transporte. Este tipo de efectos de incrementos de capacidad han sido simulados, considerando distintos niveles de penetración de mercado de los VA, mediante modelos de tráfico (Shladover et al., 2012; Liu et al., 2018). Sin embargo, estos aumentos de capacidad, y consiguientes disminuciones en los tiempos de viaje derivados de una menor congestión, podrían ser contrarrestados por una mayor demanda inducida de viajes. Este fenómeno ha sido simulado estimando la elasticidad de la generación de viajes a los cambios en la accesibilidad y calculando cómo podría variar ésta con los nuevos tiempos de viaje más reducidos que implicaría la existencia de los VA (Meyer et al., 2017).

Otro aspecto analizado que podría influir en el tráfico es el relacionado con el aparcamiento. Diversos autores como Fagnant y Kockelman (2014), Martínez y Viegas (2017) y Zhang et al. (2015) han estimado mediante simulación que hasta el 90% de las plazas de aparcamiento en áreas urbanas podrían ser eliminadas si se contara con una oferta suficiente de VAC que

eviten tiempos de espera elevados. Pero no sólo se eliminarían, sino que la distribución espacial de los mismos cambiaría. Según Zhang y Guhathakurta (2017) la existencia de tarifas por aparcar en el área urbana central podría cambiar la demanda de los aparcamientos, relocalizándola desde el centro urbano a los barrios residenciales periféricos y especialmente a aquellos con menor nivel de ingresos, donde el precio por aparcar sería gratuito.

Obviamente este sería un efecto problemático, ya que esto podría generar distancias de viaje más largas, mayor congestión y mayor gasto energético.

Millard-Ball (2019) microsimuló también efectos similares, observando que los usuarios podrán hacer que sus vehículos aparquen en localidades más alejadas, o que incluso no aparquen, provocando la generación de más tráfico y congestión a la espera de que su usuario vuelva a querer desplazarse. Además, las políticas de creación de mayor oferta de aparcamiento gratuito en las periferias podrían incrementar aún más este problema. El autor propone en cambio aprovechar la llegada de los VA a las ciudades para introducir una tarificación doble: por utilizar la vía para circular y por distancia de viaje, con el objetivo de internalizar las externalidades generadas por los vehículos.

3.2 Efectos sobre la forma urbana

Los estudios sobre los efectos que podrían tener, directa e indirectamente, los VA en la forma urbana han sido más escasos, si bien comienza a producirse cierto consenso en sus resultados. Estos estudios han usado técnicas como la construcción de escenarios y herramientas de simulación para obtener previsiones realistas de estos efectos, partiendo de supuestos sobre cuáles serán las características predominantes de la movilidad autónoma en el futuro. Los efectos estudiados pueden agruparse en dos grandes bloques (Heinrichs, 2016): cambios en la localización de la población, las actividades urbanas y la atractividad de los distintos vecindarios, y liberación de espacios hasta ahora ocupados en el desplazamiento o estacionamiento de los vehículos.

Como se ha citado en el apartado anterior, los VA pueden tener un fuerte impacto en el valor del tiempo asignado por los usuarios a sus desplazamientos y, por lo tanto, podrían verse incrementadas las longitudes de viaje con el consiguiente aumento de la accesibilidad de barrios o localidades periféricas hasta ahora menos atractivas para residir. Esto ha hecho plantearse a algunos autores que los VA podrían potenciar aún más los procesos de localización dispersa, tanto de la población como de las actividades económicas, especialmente en las ciudades de mayor tamaño (Childress et al., 2015; Soteropoulos et al., 2019). Esto podría ser un problema para la sostenibilidad futura de las áreas urbanas, dadas las implicaciones negativas que tienen los desarrollos urbanos dispersos basados en la movilidad en coche (Hennig et al., 2016).

Una de las primeras aproximaciones a las visiones de los impactos de los VA en los entornos urbanos fue planteada por Townsend (2014). Este autor se basó en la creación de cuatro visiones arquetípicas mediante el método de futuros alternativos: crecimiento o expansión de las tendencias actuales; colapso, en el que las condiciones actuales se deterioran y algunos sistemas críticos fallan; restricción, que limita el crecimiento en función de los recursos; y transformación, un cambio disruptivo que alcance un futuro basado en la innovación. En atención a los impactos esperados en los usos de suelo y el transporte, Townsend apuntó a que la automatización del transporte de viajeros llevaría a una renovada expansión urbana (*sprawl*), y a una consolidación de las llamadas ciudad de borde (*edge city*) en el escenario de crecimiento.

En el escenario de colapso se esperaría un incremento generalizado y desmesurado de la congestión, con un aumento de la movilidad a demanda, y disminución de la vitalidad y espacio de las zonas peatonales. En el caso del escenario de restricción, se podría esperar un sistema basado en autobuses autónomos regionales que consolidaran los suburbios cercanos a los centros urbanos existentes, mientras en el caso del escenario de transformación, los cambios en la propiedad y el auge de los medios digitales y la innovación conllevaría a una densificación de las ciudades, basada en desarrollos residenciales de pequeño tamaño, ciudades con más servicios y actividades, y desplazamientos cortos, en los que la movilidad peatonal y en bicicleta serían protagonistas.

El cambio de los patrones de localización en las áreas urbanas ha sido analizado por otros autores mediante métodos basados en técnicas de simulación para realizar estimaciones. Thakur et al. (2016) utilizaron un modelo de interacción entre el transporte y los usos del suelo (modelo LUTI) para estudiar las implicaciones de los VA en el Gran Melbourne. Esto lo realizaron mediante la simulación de cuatro escenarios en los que se combinaba la reducción del valor del tiempo con la presencia de *ridesharing* (trayectos compartidos). Así, la reducción del valor del tiempo implicó en las simulaciones un incremento claro de las longitudes de viaje y un menor uso del transporte público, con pérdida de población en el centro urbano en favor de localizaciones más periféricas. En cambio, una mayor importancia de la movilidad mediante *ridesharing* tuvo un efecto opuesto, menores kilómetros recorridos por los vehículos y un incremento de la población en el centro urbano. La combinación de los dos efectos al mismo tiempo tuvo efectos similares a este último escenario, pero más moderados. Por lo tanto, parece que los servicios de *ridesharing* podrían compensar los efectos de mayor dispersión urbana y mayor uso del coche de los escenarios con VA de uso privado.

Siguiendo una línea similar a la anterior, Zakharenko (2016) desarrolló un modelo de elección de ubicación basado en la teoría de la economía urbana para una ciudad idealizada bidimensional monocéntrica de forma semicircular, que calibró para una ciudad típica representativa de Estados Unidos. Este modelo asumió que los trabajadores podían elegir entre no desplazarse, desplazarse en vehículos tradicionales y desplazarse en vehículo

autónomo teniendo en cuenta los costes fijos, variables y de estacionamiento de cada alternativa. Según los resultados, con la introducción de VA alrededor del 97% de la demanda diaria de estacionamiento se trasladaría a un cinturón de aparcamiento exclusivo en la periferia urbana.

Esto, a su vez, liberaría terrenos para otros usos y tendría un impacto positivo en la densidad de la actividad económica en el centro de la ciudad, impulsando las rentas del suelo. Por otra parte, la reducción de los costes de transporte debido a los VA aumentaría las distancias de viaje y haría que la ciudad expandiera su superficie en más de un 7% y los alquileres de los terrenos disminuyesen aproximadamente un 40% fuera del centro de la ciudad.

Milakis et al. (2017b) consideraron los cambios potenciales en la forma urbana asociados a la introducción de la conducción autónoma como impactos de segundo orden, basándose en el concepto de efecto dominó. Su estudio de revisión, realizado a partir de una búsqueda de la literatura científica en las principales bases de datos internacionales, resalta la escasa atención prestada a este tema. Para estos autores, los VA podrían tener un impacto tanto en la escala espacial macro (regional) como en la micro (local). A nivel regional, la mejora de la accesibilidad general derivada del menor coste del transporte, unida a la mejora de la accesibilidad individual debido a la posibilidad de las personas sin acceso a un automóvil de viajar en VA, podría incidir en la ubicación de la población y actividades incrementando los procesos de periurbanización y el desarrollo de nuevos centros. A nivel local, los VA podría transformar el paisaje urbano. La reducción de la demanda de estacionamiento fuera de la vía pública podría traer cambios en el uso del suelo (desarrollos residenciales, comerciales, espacios verdes, etc.) y en el diseño de los edificios (es decir, carriles de acceso, jardinería), facilitando nuevos desarrollos para usos del suelo más amigables para las personas.

Otros autores como Riggs et al. (2019) han proporcionado evidencia de que la tecnología autónoma puede tener diferentes impactos en distintas áreas de las ciudades como el centro, los suburbios o los bordes rurales. Los autores documentaron un taller realizado en julio de 2017 en el Simposio de vehículos autónomos (AVS 2017), en el que estudiaron los posibles cambios en el entorno construido en dos contextos urbanos diferentes: una ubicación suburbana de tranvía de los años 1920-1930 y una ubicación suburbana de posguerra de los años 1970 más periférica, ambas localizadas en Portland, Oregón, aunque los sitios estaban destinados a representar condiciones típicas en los Estados Unidos. Para evaluar los escenarios utilizaron un método de *charrette*, un proceso participativo en el que los expertos llevan a cabo una serie de diálogos con la comunidad para consensuar soluciones. Los resultados ofrecen información sobre cómo la tecnología autónoma tendría potencialmente diferentes impactos en los usos del suelo, el diseño del espacio público, la densidad urbana, la localización de la población y las actividades según la tipología de espacio urbano. Los resultados también revelan que los VA pueden afectar las decisiones modales de manera diferente según la ubicación, y cómo los responsables de la planificación urbana pueden

formular soluciones de diseño y políticas de entorno construido para promover un urbanismo sostenible y habitable.

Otro trabajo interesante es el de Maia y Meyboom (2018), en el que también se analizaron los efectos de los VA en la ciudad a partir de la creación de escenarios posibles formados en base a la metodología de *Scenario learning*. Para ello, plantearon una serie de fases que comienzan con la identificación de los factores y fuerzas principales que pueden guiar la implantación de los VA y su clasificación en atención al nivel de incertidumbre y al nivel de impacto que pueden tener en el proceso. Una vez clasificados los factores se identificaron las relaciones de dependencia entre ellos para posteriormente establecer la construcción de 4 escenarios en función del cruce ortogonal entre los dos conjuntos de factores más relevantes, esto es, más inciertos y con mayor impacto.

En este caso se seleccionaron “regulación y fuerzas del entorno urbano”, que distingue entre apoyar el transporte público frente a apoyar los VA y “fuerzas de mercado y de estilo de vida”, que distingue entre una adopción rápida (progresivo) y una adopción lenta (conservador) de las nuevas tecnologías. En el caso de regular para apoyar los VA en un contexto progresivo, el principal impacto sería la dispersión urbana, en contraste con la apuesta por el transporte público en un contexto progresivo, que haría menos atractivos los nuevos desarrollos urbanos por su escasez de servicios públicos y liberalizaría espacios en los centros urbanos.

Estos estudios a un nivel macro sobre cambios en la localización de la población y las actividades que podrían ser incentivados por el funcionamiento de los VA, se han complementado con estudios a nivel más micro sobre los impactos en los usos del suelo. El efecto más examinado es la posible liberación de espacios en los centros urbanos debido a cambios en la localización y número de los espacios de aparcamiento. Como se ha comentado anteriormente, las simulaciones realizadas apuntan a una posible eliminación de hasta el 90% de las plazas de aparcamiento en áreas urbanas implicando una cantidad importante de superficie liberada. Duarte y Ratti (2018) llevaron a cabo la revisión de una serie de estudios sobre liberación de espacios destinados a parking, señalando que en ciudades como Melbourne y Los Ángeles las plazas de aparcamiento suponen una superficie equivalente al 76-81% del área del centro urbano. Esto se traduciría en cerca de 567.000 ha. liberadas para 2040 en el conjunto de EE.UU., según un informe de la Asociación del Plan Regional de la región metropolitana de Nueva York (RPA, 2017). Estos espacios podrían reconvertirse, por ejemplo, en zonas verdes, equipamientos o viviendas asequibles.

Además, esta liberación de espacio de estacionamiento podría ser aún mayor gracias a la optimización del mismo, esto es, debido al rediseño de los espacios de aparcamiento que permitiría la automatización. Nourinejad et al. (2018) realizaron estimaciones a este respecto, considerando la reducción del espacio destinado a apertura de puertas, eliminación

de pasillos, etc., lo que podría suponer una reducción media de entre un 62% y un 87% del espacio requerido actualmente.

La liberación de espacio ofrece por lo tanto una gran oportunidad para la recualificación de zonas urbanas y la configuración de centros urbanos más densos y con mayores estándares de calidad. Milakis et al. (2017b) también revisan estos aspectos, y señalan que en los espacios previamente asignados al aparcamiento y circulación de los vehículos podrían ejecutarse nuevos desarrollos residenciales, comerciales y recreativos, o bien este espacio extra podría convertirse en carriles para vehículos de transporte público o usos que faciliten la movilidad activa, por ejemplo, espacios verdes, aceras más amplias o carriles bici. El impacto de la optimización del aparcamiento puede ser aún mayor en las zonas céntricas, donde edificios de garajes y plazas de aparcamiento podrían reconvertirse a otros usos, dando lugar a zonas céntricas más dinámicas.

Duarte y Ratti (2018) señalan que los garajes en edificios privados podrían convertirse en usos productivos como el comercio minorista y usos más nobles, desde viviendas sociales a espacios públicos, como los 51 *parklets* creados en San Francisco desde 2010, a los que han seguido muchos otros en todo el mundo. Según Sousa et al. (2018) si el espacio antes destinado a los coches se utilizase para construir carriles bici de calidad, cabría esperar un aumento del uso de la bicicleta, descongestionando las calles y atrayendo a la gente al centro de las ciudades.

Por tanto, los efectos de los VA en el transporte y el desarrollo urbano no van a depender tanto de la tecnología y el nivel de automatización de los vehículos sino sobre todo de la regulación de esta tecnología y de la gobernanza de las ciudades y regiones (Stead y Vaddadi, 2019). Es por ello, que resulta imprescindible definir claramente los objetivos de las ciudades y optar por enfoques de planificación proactivos para lograr los futuros deseados (Cohen y Cavoli, 2019; Legacy et al., 2018; González-González et al., 2020; Papa y Ferreira, 2018).

4. NUEVOS ENFOQUES DE PLANIFICACIÓN

4.1 Técnicas de planificación basadas en escenarios

Dentro del conjunto de técnicas que pueden emplearse en el campo de la planificación urbana y del transporte, la construcción de escenarios es una de las más conocidas, dada la necesidad de construir descripciones de un futuro posible y probable para plantear distintas líneas de actuación en el presente. Börjeson et al. (2006) clasificaron las técnicas de construcción de escenarios en tres grupos principales: predictivas, exploratorias y normativas. Estos tres tipos de técnicas responden a tres posibles preguntas sobre el futuro en un determinado campo de planificación: qué pasará en el futuro, qué podría pasar y cómo llegar a un objetivo deseado. Así, las técnicas predictivas buscan seleccionar el escenario más probable que ocurrirá en el futuro, bien dada la tendencia actual del sistema estudiado (escenario *Business-as-Usual*), bien ante un cambio de política o la ocurrencia de un evento

especificado (escenarios *What-if*). Este tipo de predicciones suelen realizarse en el marco de algún tipo de modelo formal que intenta replicar las características fundamentales del funcionamiento y equilibrio del sistema estudiado.

Las técnicas exploratorias en cambio están basadas en la construcción sistemática de escenarios que pueden ocurrir plausiblemente en el futuro, aunque sea incierto si van a producirse realmente. La construcción de escenarios se realiza habitualmente construyendo una matriz estructurada en torno a los principales factores que se considera podrán ser claves en la evolución del sistema en el futuro (Schwartz, 2012). Este tipo de técnica permite que los planificadores tengan en cuenta distintos factores y situaciones que podrían presentarse aceptando la incertidumbre asociada al futuro. Además, los escenarios pueden generarse en función tanto de factores externos, fuera del control de la planificación, como de factores internos, describiendo el rango de las posibles consecuencias que implica actuar sobre elementos estratégicos.

Finalmente, el método de construcción de escenarios de tipo normativo descansa en la idea de alcanzar un objetivo o un conjunto de objetivos deseados. Alcanzar este escenario deseado puede implicar la aplicación de toda una serie de políticas que simplemente ajusten la situación de partida (*preserving scenarios*) o bien, si se considera que el escenario deseado no es alcanzable bajo las circunstancias actuales, de otro conjunto de políticas que contribuyan a cambiar estructuralmente el sistema estudiado (*transforming scenarios*).

Es en este segundo caso en el que se encuadra el enfoque conocido como backcasting o planificación retrospectiva, en el que se diagnostica como necesario un cambio de tendencia en el sistema estudiado que la aplicación de las políticas derivadas del ejercicio de planificación ayudará a alcanzar.

El enfoque backcasting se aplica cada vez más en los estudios de futuro en los campos relacionados con la planificación urbana (Carlsson-Kanyama et al., 2003; Phdungsilp, 2011; Bibri y Krogstie, 2017) y del transporte (Åkerman y Höjer, 2006; Banister et al., 2000; Höjer et al., 2000; Hickman y Banister, 2014; Soria-Lara y Banister, 2017). Esto se debe a que se considera un método especialmente adecuado cuando se esperan cambios disruptivos - aunque no se refieran específicamente a los VA-, que requieren una modificación drástica de las políticas a implementar.

Dentro de la metodología backcasting pueden diferenciarse a su vez distintas formas de aplicación. Según los principales agentes implicados, el contenido de la planificación puede ser establecida por grupos multidisciplinares de investigadores (*think-tank*), por expertos (*expert-led backcasting*) o mediante consultas (*participatory o collaborative backcasting*), ya sea a expertos, grupos de interés y ciudadanos en general (Doyle y Davies, 2013; Robinson et al., 2011).

Si se tiene en cuenta el foco principal del proceso de planificación puede distinguirse, de acuerdo con Wangel (2011), entre la planificación backcasting orientada al objetivo final del escenario deseado (*target-oriented*), la planificación centrada en los medios requeridos para alcanzar ese objetivo (*pathway-oriented*) y la basada en establecer los agentes y grupos de interés que pueden llevar a cabo las acciones identificadas para alcanzar el objetivo (*action-oriented*). Además, según Wangel (2011), de 21 investigaciones backcasting revisadas por el autor, la mayoría fueron *target-oriented* o *pathway-oriented*, mientras que la planificación *action-oriented* ha estado menos presente en la literatura.

En cuanto a su estructura, la metodología backcasting puede descomponerse en una serie de fases. Según los casos de aplicación, algunos autores han aplicado una metodología en tres fases, mientras que otros han utilizado un proceso algo más detallado en cinco fases. Soria-Lara y Banister (2017) han propuesto diferenciar tres fases a la hora de aplicar la planificación backcasting.

La fase de *Visioning* o de definición de la imagen futura deseada, la fase de *Policy Packaging*, de identificación de las políticas y su organización temporal en paquetes de política que pueden conducir a esa imagen deseada, y la fase de *Appraisal* o de evaluación de las políticas para intentar prever su efectividad, aceptación social y potenciales problemas de implementación. Otros autores como Quist et al. (2006) han propuesto en cambio diferenciar cinco fases en la metodología, incluyendo una fase preliminar en la que se establecerían los objetivos de la planificación, y una fase final de monitorización de la aplicación de las políticas que se han derivado del proceso.

4.2 El uso del backcasting en la planificación sobre vehículos autónomos

En este apartado se examina el contenido de los estudios recientes elaborados en el periodo 2000-2020 que emplean enfoques de tipo backcasting en el campo de la movilidad y, más concretamente, de los VA. Los estudios analizados proceden de dos fuentes principales: documentos y publicaciones académicas en revistas científicas, actas de congresos y libros; e informes de organismos públicos. Los estudios se identificaron mediante una búsqueda en la Web of Science (WoS), Scopus y Google Scholar (GS) utilizando combinaciones de la palabra backcasting con las palabras clave: autonomous vehicles, autonomous mobility, automated transport, self-driving car, driverless car y mobility on-demand, complementados con técnicas de bola de nieve hacia adelante y hacia atrás.

En total, se identificaron 15 fuentes bibliográficas que aunaban las palabras seleccionadas. Dado que el objetivo del estudio se centra en la aplicación del backcasting se desecharon 2 referencias que tratan por un lado la revisión bibliográfica de estudios sobre la elaboración de escenarios futuros para analizar los impactos de los VA en los patrones de desarrollo urbano y la forma urbana (Stead y Vaddadi, 2019), y por otro la idoneidad de distintos métodos de planificación para implantar políticas que regulen los VA (Li et al., 2019). Finalmente se seleccionaron 13 fuentes para su examen en el presente estudio (Tabla 1). En

la WoS se identificaron 7 documentos, mientras que la búsqueda en GS arrojó resultados en su mayor parte repetidos, encontrándose 5 artículos adicionales. En Scopus se localizaron los mismos documentos que en los buscadores anteriores. Por último, se encontró 1 artículo más mediante la metodología bola de nieve.

Como puede verse en la Tabla 1, la mayor parte de los documentos encontrados, 10 de los 13 (77%), se centran en la primera de las fases del backcasting, el *visioning*, y 5 presentan la segunda de las fases, *policy packaging and pathway*, ya sea bien de manera individual bien conjuntamente con el *visioning*. Finalmente, sólo un documento se enfoca específicamente en la fase final de evaluación, *appraisal*. Esta distribución se corresponde además con el desarrollo temporal de los trabajos, apareciendo las últimas fases del backcasting en los documentos más recientes.

Documento	Buscador y palabras clave	Fase de backcasting	Tipo de backcasting
Marchau y van der Heijden (2003)	WoS: B + AT	Visioning	Participatory
Chapin et al. (2016)	Citado por Stead y Vaddadi (2019)	Visioning	Participatory
Vaddadi (2017)	GS: B + AV	Visioning	Think-tank
Papa y Ferreira (2018)	GS: B + ATV	Visioning (critical decisions)	Think-tank
Hörtl et al. (2018)	WoS: B + AT	Visioning	Think-tank
Karlsson y Fredriksson (2019)	GS: B + AV	Visioning + Policy packaging	Mixed: Think-tank + Participatory
Dragomanovits et al. (2020)	GS: B + AV	Forecasting+ Backcasting: Policy packaging	Think-tank + Expert-lead
González-González et al. (2019)	WoS: B + AV GS: B + AV	Problem orientation - Visioning	Think-tank
González-González et al. (2020)	WoS: B + AV GS: B + AV	Visioning + Policy packaging	Think-tank
Nogués et al. (2020)	WoS: B + AV GS: B + AV	Appraisal	Mixed: Think-tank + Participatory
Staricco et al. (2019)	WoS: B + AV GS: B + AV	Visioning	Mixed: Think-tank + Participatory
Vitale Brovarone et al. (2019)	GS: B + AV Scopus: B+ AV	Policy Packaging	Participatory
Staricco et al. (2020)	WoS: B + AV GS: B + AV	Visioning + Policy packaging	Mixed: Think-tank + Participatory

Tabla 1: Publicaciones que aplican backcasting para planificar un futuro con vehículos autónomos

* Palabras clave: backcasting (B), autonomous vehicles (AV), autonomous mobility (AM), automated transport (AT), automated vehicles (ATV), self-driving car (S), driverless car (D)

La mayor parte de los estudios de *visioning*, 8 de los 10 (80%), emplearon un backcasting de tipo *think-tank*, es decir, las decisiones fueron tomadas por los propios grupos de investigación. Solo 2 de los casos de esta fase fueron participativos.

En los casos en los que se trata la segunda fase de *policy packaging*, o identificación y organización de las políticas, la mayor parte de los estudios emplea el enfoque participativo (3 de 5). Los estudios de políticas que no utilizaron la participación emplearon una aproximación de tipo *think-tank* o mixta *think-tank* con *expert-lead* (expertos).

Por último, el estudio que realiza la tercera fase de *appraisal* se basa en un proceso participativo o *participatory backcasting*. Es de destacar que todos los estudios que optan por la participación realizan consultas a expertos y grupos de interés, obviando de momento la consulta pública a la ciudadanía.

La primera aportación identificada es la correspondiente a Marchau y van der Heijden (2003). Estos autores realizaron un trabajo pionero de planificación mediante backcasting aplicado al caso de los sistemas de *Automated Vehicle Guidance* (AVG), que se podrían asimilar al concepto más actual de VA, en los que se automatiza la aceleración, el frenado y la dirección de los vehículos. Para ello aplicaron una metodología organizada en tres grandes pasos. En primer lugar, la construcción de diferentes conceptos de AVG utilizando *morphological analysis*.

En segundo lugar, el estudio de las condiciones de implementación de los conceptos de AVG propuestos mediante la aplicación del método Delphi, para lo que recurrieron a 117 expertos de los cuales 40 completaron hasta la tercera ronda de respuestas.

Por último, realizaron una evaluación mediante preferencias declaradas a 485 conductores y poseedores de una flota de coches sobre si los conceptos propuestos podrían ser realmente llevados a cabo. Este proceso permitió a los autores eliminar todos los sistemas de AVG que fueron considerados implausibles, poco prometedores o que no presentaron una aceptación, seleccionando únicamente los que fueron considerados como más viables.

Sin embargo, no es hasta casi 15 años más tarde cuando comienzan realmente a aparecer nuevos estudios e informes que tratan de visualizar y planificar la llegada de los VA. Chapin et al. (2016) se plantearon cómo podría tener que adaptarse el espacio urbano a las nuevas necesidades creadas por los VA.

Para desarrollar su informe realizaron una sesión participativa de *visioning* en Florida sobre los posibles impactos en ámbitos como cambios en los sentidos de las calles, gestión de puntos de subida/bajada de viajeros, cambios en los espacios de aparcamiento, cambios en la señalización, convivencia con los modos activos e incluso posibilidades abiertas para la regeneración urbana.

Para ello se consideraron dos escenarios temporales: uno con una implantación parcial de los VA (2040) y otro con una implantación total (2060). Los resultados obtenidos permitieron a los autores recomendar ciertos pasos para preparar a las ciudades para la implantación de los VA, tales como incorporarlos en el diseño de la red vial, establecer estándares para el tamaño y localización de puntos de subida y bajada de viajeros, identificar oportunidades para el desarrollo de antiguos espacios de aparcamiento y repensar los diseños de las intersecciones de forma que fuesen seguras para los peatones y ciclistas y admitiesen el uso de los VA.

Vaddadi (2017) se realizó una pregunta similar en el desarrollo de su trabajo de máster, en el que propuso distintos escenarios de aplicación a la ciudad de Ámsterdam. Para ello planteó un backcasting que desarrolla dos escenarios con un horizonte de 2040, considerando un alto uso compartido de los VA (*car on demand*) frente a un uso privado individual mayoritario (*luxury driving*).

Estableció entonces 4 fases temporales para aplicar las herramientas o medidas necesarias de planificación y propuso un conjunto de 7 guías de planificación que comprenden la cooperación de las autoridades de transporte público y empresas de desarrollo de los VA, regulación del uso de calzadas y tasas a aparcamientos, incentivos para el desarrollo de la economía compartida y políticas para promover la colaboración público-privada entre otras.

Además de ello, planteó una serie de 6 conceptos o guías de diseño urbano para llevar a cabo los cambios deseados consistentes en espacios flexibles, tecnológicamente amigables, reconversión de los aparcamientos en la calle (batería o línea) como nuevos pequeños espacios verdes o de múltiples actividades (*street parklets*), coexistencia de distintos modos de transporte de manera segura, reordenación de calles y cambio de la finalidad de los actuales grandes aparcamientos en superficie.

Papa y Ferreira (2018) utilizaron la metodología backcasting en una aproximación combinada con la metodología exploratoria para analizar las posibles consecuencias de los VA sobre la accesibilidad. La definición de escenarios futuros, uno optimista y otro pesimista, se realizó mediante la técnica exploratoria mientras el backcasting fue empleado para la identificación de decisiones críticas en relación a las medidas políticas y de planificación a implementar.

Las decisiones críticas encontradas por estos autores hacen alusión al uso compartido de los VA, el apoyo al transporte público, la sostenibilidad ambiental, los sistemas de información de redes, la cooperación autónoma, las políticas de usos de suelo y de aparcamiento, la regulación de tráfico intermodales, el diseño de la red de transporte, la exclusión social o la gestión de datos. Como conclusión del estudio los autores afirmaron que es necesario analizar qué ciudades y regiones pueden ser más vulnerables para la aparición de escenarios futuros no deseados y estudiar cómo evitar estos escenarios, para lo que hacen hincapié en el papel fundamental de la planificación para guiar el proceso de implantación de los VA.

Hörtl et al. (2018) utilizaron la metodología backcasting también en el contexto de planificación del transporte, aunque sin tratar específicamente el tema de los vehículos autónomos, sino considerando éstos como uno de los posibles avances tecnológicos en el horizonte temporal contemplado, el 2050. El objetivo de su estudio era definir una hoja de ruta (*pathways*) que permitiera alcanzar la reducción de un 60% en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) planificadas en el Libro Blanco del Transporte (European Commission, 2011).

Los autores crearon un escenario de referencia y tres escenarios adicionales en los que se cumplía el objetivo de reducción de emisiones en base a dos factores: la velocidad de la transición en el ámbito de la tecnología del automóvil (más rápida o más lenta) y el tipo de posesión de coche (prevalencia de la posesión y uso del coche de forma privada o transición hacia la multimodalidad). De su estudio se deriva que los VA pueden tener un impacto positivo y colaborar, junto con la electrificación de los vehículos y las reducciones de emisiones por kilómetro recorrido, en alcanzar los objetivos fijados de emisiones de GEI para 2050.

Otro estudio relativo a la planificación backcasting del transporte es el realizado por Karlsson y Fredrikson (2019). Este estudio explora la afección de los VA en el transporte de pasajeros en el entorno urbano utilizando entrevistas semi-estructuradas para definir las condiciones del futuro sostenible, las brechas existentes entre la realidad actual y el futuro deseado y las acciones y estrategias que podrían ayudar a alcanzarlo. Entre estas acciones los expertos consultados identificaron como especialmente relevante la creación de incentivos para potenciar los modos de transporte compartidos sobre el uso privado de los VA. Por ello los autores propusieron utilizar la metodología de *Design Thinking* para la creación de una plataforma de taxi compartido que permitiera dar pasos hacia el futuro deseado mediante la reducción de la posesión de coche.

Dragomanovits et al. (2020) presentaron recientemente el primer avance del desarrollo de una herramienta online de toma de decisiones sobre la implantación de los VA con el objetivo de servir de ayuda a técnicos y autoridades municipales, regionales y nacionales. Esta herramienta se estructura en dos módulos, uno de conocimiento previo y otro de estimación. El primero de ellos funcionaría como repositorio en el que se puede consultar bibliografía sobre impactos clasificados en tres grupos principales: impactos directos, impactos sistémicos e impactos más amplios, así como resultados de proyectos aplicados en las ciudades participantes en el proyecto de desarrollo de la herramienta. El segundo módulo se estructura a su vez en un subsistema que sería capaz de realizar estimaciones *forecasting* para diversos escenarios considerando diferentes parámetros de entrada, y otro subsistema backcasting que, a partir de la selección de objetivos políticos, sería capaz de proponer las intervenciones que podrían conducir a una visión deseada.

A partir de 2019 nos encontramos con el trabajo de dos grupos de investigación que tratan las distintas fases del backcasting en publicaciones sucesivas. Por un lado, las publicaciones de González-González et al. (2019, 2020) y Nogués et al. (2020) abordaron las tres fases principales del backcasting, considerando el análisis de los posibles impactos urbanos de los VA para identificar los objetivos a perseguir, las medidas a implementar para guiar la implantación de los VA y su evaluación. La primera de las aportaciones identificó los objetivos de planificación fundamentales que han de perseguir las ciudades del futuro en atención a los principales documentos y agendas internacionales y comparó estos objetivos con los potenciales impactos descritos en la literatura científica.

De este modo se identificaron las oportunidades y amenazas que los VA pueden introducir para alcanzar ciudades atractivas, saludables y sostenibles, ofreciendo una primera aproximación a los objetivos de las políticas de planificación necesarias y a las medidas para alcanzarlos, como la apuesta por la mixticidad de usos, la limitación del acceso a vehículos motorizados en ciertas zonas del centro de las ciudades, y la adopción de sistemas de transporte multimodal, compartido y de gran calidad.

La segunda aportación se centró en la identificación del escenario deseado y las decisiones y medidas de planificación más relevantes para la implantación de los VA en los entornos urbanos. Para ello, se identificaron las dos decisiones estratégicas que sirven de base para la creación de cuatro escenarios de *visioning* futuros: la apuesta por la movilidad compartida y la necesidad de limitar el acceso motorizado a zonas céntricas de la ciudad.

Con el fin de lograr el escenario más favorable los autores establecieron, desde la revisión bibliográfica, una serie de medidas de planificación que se ordenaron y clasificaron en ocho paquetes de políticas (*policy packages*) y tres fases temporales (*policy paths*), desde la actualidad hasta el horizonte temporal de 2050. Estas fases se corresponden con una primera transición segura y compartida, enfocada a la convivencia temporal de los VA y los vehículos convencionales, una segunda fase centrada en la promoción de la movilidad compartida y activa, y una última fase, nombrada reconquista urbana, que aboga por mejorar el entorno urbano redefiniendo los espacios y usos de manera que los ciudadanos vuelvan a ser los protagonistas de la ciudad.

En la última de las aportaciones de este grupo (Nogués et al., 2020) se evaluaron los impactos potenciales de los VA y las políticas/paquetes de políticas que podrían ser más efectivas para alcanzar un escenario de ciudad deseada. Para ello se realizó una encuesta que fue distribuida a un panel de 55 expertos de los ámbitos de la planificación urbana, territorial y del transporte. Los resultados obtenidos mostraron escepticismo sobre los impactos positivos de los VA frente a una mayor confianza en los potenciales efectos negativos, tales como el aumento de los viajes realizados en coche y la dispersión urbana.

De las políticas propuestas, los encuestados consideraron más efectivas para paliar estos efectos y conducir al escenario preferido la potenciación de los modos de movilidad activa y el transporte público, la restricción del acceso de los modos motorizados a las áreas urbanas centrales y el aprovechamiento de los posibles espacios liberados por los vehículos convencionales para otros usos, como la mejora de las zonas verdes y los equipamientos. Además, la mayor parte de los expertos consultados consideraron que los paquetes de política planteados podían ser efectivos o muy efectivos para alcanzar el escenario deseado, a excepción de las medidas para combatir la dispersión. Estos resultados permiten conocer la efectividad de determinadas políticas de cara a futuras actuaciones y ayuda a los responsables de la planificación a establecer medidas para controlar procesos no deseados.

Por otro lado, los trabajos de Staricco et al. (2019, 2020) y Vitale Brovarone et al. (2019) trataron dos de las fases del backcasting participativo en el caso concreto de la ciudad de Turín. Las primeras aportaciones del 2019 relataron la aplicación de la fase de *visioning*, estableciendo tres escenarios en los que se evaluaron los impactos que pueden ocasionar distintas regulaciones de la circulación y el aparcamiento de los VA en la sostenibilidad y habitabilidad de la ciudad. Con la ayuda de un grupo focal formado por 7 expertos y entrevistas a 44 representantes locales (*stakeholders*) se realizó la evaluación y validación de las visiones a 2050 desarrolladas por el equipo de investigación para elegir la más recomendable. El resultado de la consulta fue -a pesar de considerarlo poco verosímil para Italia, pero sí para países nórdicos (Vitale Brovarone et al., 2019)- la recomendación del tercer escenario de fuerte regulación de los VA, en el que se restringe el acceso de VA privados a vías secundarias en zonas residenciales, promoviendo el uso de vehículos compartidos, transporte público, y especialmente los modos activos como prioritarios en estos entornos, y en el que se propone el uso de aparcamientos multinivel cercanos a las principales vías y a las afueras de las zonas residenciales. Uno de los aspectos identificados por los autores como relevantes para estudios futuros fue la escala de análisis, afirmando que sería oportuno analizar entornos metropolitanos más amplios que solamente la ciudad, con el fin de analizar otros impactos como la dispersión urbana, así como el uso de modelos LUTI que simulen las relaciones del sistema de transporte con la localización de las actividades (Staricco et al., 2019).

El documento de 2020 presentó una evaluación de las dos fases de *visioning* y *policy packaging* llevadas a cabo durante la investigación en Turín, identificando los principales retos y puntos críticos encontrados en el proceso. La fase de *policy packaging* se desarrolló, al igual que la de *visioning* explicada anteriormente, utilizando una combinación de metodologías *think-tank* y participativa. Al mismo tiempo que se consultó a los expertos mediante entrevistas sobre la visión más recomendable, se les requirió que identificaran las posibles medidas de planificación para alcanzar esta visión. De esta consulta el equipo de investigación propuso una lista de 18 medidas que fueron posteriormente debatidas en una jornada de trabajo con 8 expertos locales, resultando finalmente un total de 33 acciones clave. Estas acciones se agruparon en atención a seis temas y fueron clasificadas según tres categorías principales: política, tecnología y transformación del espacio urbano, indicando además los principales actores involucrados y la década de implementación.

Uno de los principales retos del proceso, señalado por los participantes del mismo, fue la gran incertidumbre que todavía existe respecto al horizonte temporal de la implantación de los VA, la aparición conjunta de otras innovaciones del transporte, como el transporte aéreo, y de nuevos modelos de explotación del mismo, como los sistemas MaaS y el uso compartido. Esta problemática parece que puede ser reducida con el uso mixto del procedimiento *think-tank* y el participativo, que ayudó a restringir todas las incertidumbres generadas en los participantes. Esta combinación también fue útil para contrarrestar la complicada definición de las fases de implantación de las políticas.

En este mismo contexto, la organización de las medidas de planificación en fases fue más sencilla cuando se referenció a periodos temporales intermedios (Staricco et al., 2020). Otro de los aspectos críticos fue la contextualización de la visión, en lo que respecta a la evolución socioeconómica, territorial y ambiental de la zona, que están muy interrelacionadas entre sí y con el sistema de transporte.

Para resolver este reto el estudio planteó utilizar las condiciones socioeconómicas definidas en un documento de planificación ya aprobado, el plan de transporte de la región. Por último, la voluntad y disponibilidad de los expertos locales a participar en el estudio también condiciona enormemente el procedimiento, así como el escaso o excesivo conocimiento sobre el tema. Para lidiar con esta problemática los investigadores emplearon diversas técnicas que permiten intercambiar estos conocimientos entre los participantes.

5. CONCLUSIONES

En esta ponencia se ha abordado la situación actual del desarrollo tecnológico de los VA y cómo su evolución plantea un escenario en el que estos vehículos podrían estar operativos en las ciudades en un plazo de tiempo relativamente corto. Los avances se están produciendo muy deprisa y los países se esfuerzan por impulsar su implantación, aunque con distinto grado de implicación. Desafortunadamente, España está perdiendo el empuje inicial y corre el riesgo de quedarse rezagada respecto a otros países occidentales.

Se espera que la automatización, según se ha expuesto en apartados anteriores, tenga efectos potenciales diversos y de distinto signo y magnitud, tanto sobre el transporte como sobre la forma urbana. Muchas de las investigaciones tienden a dedicar más atención a los impactos positivos y a escala local; no obstante, los impactos dependerán de la forma en la que los VA sean utilizados, así como de la implementación de políticas clave en materia regulatoria y fiscal, entre otras.

Una cuestión en la que los estudios hacen hincapié es en el papel fundamental de la planificación para encauzar con antelación la llegada de los VA y guiar su proceso de implantación. Sin embargo, fuera de la esfera académica e investigadora no existen todavía planes en la práctica de la planificación.

Desde el ámbito de la investigación, el elevado grado de incertidumbre de los cambios asociados a la conducción autónoma ha llevado a los investigadores, de acuerdo con la literatura académica examinada en esta ponencia, a plantear nuevos enfoques de planificación. En este trabajo se han expuesto los diversos métodos de planificación de escenarios y se han revisado más detalladamente aquellos estudios que se han centrado en la planificación de tipo backcasting, un método de planificación proactivo más novedoso y adecuado ante escenarios disruptivos que requieren cambios drásticos en las políticas para lograr el futuro deseado a largo plazo.

Esta revisión ha partido de una recopilación exhaustiva de artículos científicos en los principales buscadores de información, considerando el periodo 2000-2020, complementada con la técnica de bola de nieve.

Esta búsqueda ha permitido detectar las investigaciones que han utilizado el método de planificación backcasting, así como caracterizar la forma en que la han aplicado, si la han complementado con otros métodos alternativos y qué puntos fuertes y débiles presenta esta línea de investigación en su conjunto.

De la revisión bibliográfica realizada puede señalarse que hasta la fecha se han llevado a cabo escasos estudios sobre este tema, si bien en los últimos años han experimentado un notable crecimiento. La mayor parte de las investigaciones detectadas se han centrado en la fase de definición de la imagen futura deseada, con un menor desarrollo de la fase de propuesta de políticas y de paquetes de política que permitan dar pasos hacia la visión deseada, y una sola aportación en el caso de la fase de evaluación de la efectividad y problemática asociadas a estas políticas.

Respecto a los agentes implicados en el proceso de planificación, en la mayoría de los estudios las decisiones fueron tomadas por los propios investigadores o bien se basaron en la consulta a expertos y grupos de interés.

Dado que las visiones de futuro y las propuestas y evaluación de políticas, especialmente si son realizadas por expertos, pueden no ser lo suficientemente imaginativas, algunos investigadores destacan la necesidad de incorporar también la opinión de los ciudadanos, ya que además de que pueden proporcionar ideas más inesperadas, ayuda a que todos los interesados se pongan de acuerdo sobre las decisiones y pasos a seguir en el proceso.

Finalmente puede concluirse que las metodologías backcasting aplicadas hasta el momento son variadas, no existiendo un procedimiento plenamente consolidado y aceptado. Algunas investigaciones combinan el método backcasting con técnicas de construcción de escenarios y otras técnicas complementarias aplicadas a la planificación.

De cara al futuro se requerirán nuevas investigaciones que combinen la estrategia creada, mediante una planificación de tipo backcasting o mediante otros métodos, con técnicas de evaluación, ya sean basadas en simulación o en conocimiento experto, que permitan realizar estimaciones realistas sobre qué efectos es previsible obtener.

Además, también será necesario el uso de herramientas de monitorización y seguimiento de la estrategia diseñada para determinar de forma continua si se están produciendo los resultados esperados de impulso a ciudades y territorios más deseables y sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se ha desarrollado dentro del proyecto “Formas innovadoras de planificación urbana y del transporte ante los nuevos sistemas de movilidad basados en la conducción autónoma” - AUTONOMOUS, 2020-2023, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) / ERDF (EU) en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 (referencia PID2019-110355RB-I00); así como del proyecto “Movilidad compartida autónoma para las ciudades habitables del mañana” - MOVI-CITY, 2019-2020, desarrollado en el marco de la Convocatoria de la Universidad de Cantabria financiada por la Consejería de Universidades e Investigación, Medio Ambiente y Política Social del Gobierno de Cantabria.

REFERENCIAS

- ÅKERMAN, J. & HÖJER, M. (2006). How much transport can the climate stand? - Sweden on a sustainable path in 2050. *Energy Policy*, 34, 1944-1957.
- ANDERSON, J.M., KALRA, N., STANLEY, K.D., SORENSEN, P., SAMARAS, C. & OLUWATOLA, O.A. (2016) *Autonomous vehicle technology. A guide for policymakers.* RAND Corporation, Santa Monica, California.
- ASHKROF, P., HOMEM DE ALMEIDA CORREIA, G., CATS, O. & VAN AREM, B. (2019). Impact of Automated Vehicles on Travel Mode Preference for Different Trip Purposes and Distances. *Transportation Research Record*, 2673(5), 607-616.
- BANISTER, D., STEAD, D., STEEN, P., ÅKERMAN, J., DREBORG, K., NIJKAMP, P. & SCHLEICHER-TAPPESE, R. (2000). *European Transport Policy and Sustainable Mobility.* London: Spon.
- BIBRI, S. E. & KROGSTIE, J. (2017) Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183-212.
- BÖRJESON, L., HÖJER, M., DREBORG, K.-H., EKVALL, T. & FINNVEDEN, G. (2006). Scenario types and techniques – towards a user's guide. *Futures*, 34, 723-739.
- CARLSSON-KANYAMA, A., DREBORG, K-H., EENKHORN, B.R., ENGSTRÖM, R., FALKENA, H.J., GATERSLEBEN, B. & VITTERSØ, G. (2003). Images of everyday life in the future sustainable city: Experiences of back-casting with stakeholders in five European cities. Integration report of WP4 in the ToolSust project. (Deliverable No 19). Stockholm: Environmental Strategies Research Group.
- CAVOLI, C., PHILLIPS, B., COHEN, T. & JONES, P. (2017). Social and behavioural questions associated with Automated Vehicles. A Literature Review. London: Department for Transport.

CHAPELA, C. (2015). Citroën prueba entre Vigo y Madrid el prototipo de coche sin conductor. *El Progreso*, 23 de noviembre 2015. <https://www.elprogreso.es/articulo/economia/citroen-prueba-el-prototipo-de-coche-sin-conductor-entre-vigo-y-madrid/20151123124920362543.html>

CHAPIN, T., STEVENS, L., CRUTE, CRANDALL, J., ROKYTA, A. & WASHINGTON, A. (2016). Envisioning Florida's future: Transportation and land use in an automated vehicle world. Final report of Florida Department of Transportation (FDOT) contract BDV30 934-10. Tallahassee: Florida Department of Transportation. <https://fpdl.coss.fsu.edu/sites/g/files/imported/storage/original/application/abfcc477779d0bc0ea825c8011011939.pdf>

CHILDRESS, S., NICHOLS, B., CHARLTON, B. & COE, S. (2015). Using an activity-based model to explore the potential impacts of automated vehicles. *Transportation Research Record*, 2493(2493), 99-106.

COHEN, T. & CAVOLI, C. (2019). Automated vehicles: exploring possible consequences of government (non)intervention for congestion and accessibility. *Transport Reviews*, 39 (1), 129-151.

DGT (2015). Instrucción 15/V-113 sobre Autorización de pruebas o ensayos de investigación realizados con vehículos de conducción automatizada en vías abiertas al tráfico en general. Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico, Madrid. <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf>

DGT (2017). España se incorpora al proyecto europeo C-Roads. *Revista de la Dirección General de Tráfico*. <http://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2017/11NOVIEMBRE/1109Proyecto-C-roads-participacion-espana.shtml#.WrtkPYhuYdU>.

DOYLE, R. & DAVIES, A.R. (2013) Towards sustainable household consumption: exploring a practice oriented, participatory backcasting approach for sustainable home heating practices in Ireland. *Journal of Cleaner Production*, 48, 260-271.

DRAGOMANOVITS, A., YANNIS, G., ROUSSOU, J., ELVIK, R., HU, B., MILLONIG, A., FILTNESS, A. & THOMAS, P. (2020). Developing a Policy Support Tool for Connected and Automated Transport Systems. *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020*, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland.

DREBORG, K.H. (1996). Essence of backcasting. *Futures*, 28(9), 813-828.

DUARTE, F. & RATTI, C. (2018). The Impact of Autonomous Vehicles on Cities: A Review. *Journal of Urban Technology*, 25(4), 3-18.

DUPUIS, N., MARTIN, C., RAINWATER, B. (2015). *City of the Future: Technology & Mobility*. National League of Cities, Washington.

- EUROPEAN COMMISSION. (2011). Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System: White Paper. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- 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: Emerging Technologies*, 40, 1-13.
- FREEMARK, Y., HUDSON, A., & ZHAO, J. (2019). Are Cities Prepared for Autonomous Vehicles? *Journal of the American Planning Association*, 133-151.
- GOBIERNO DE ESPAÑA. (2020). España y Francia estrechan su colaboración en el desarrollo de la conducción automatizada y conectada. Presidencia del Gobierno de España. <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transportes/Paginas/2020/230920-conduccion-automat.aspx>
- GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, E., NOGUÉS, S. & STEAD, D. (2019). Automated vehicles and the city of tomorrow: A backcasting approach. *Cities*, 94, 153-160.
- GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, E., NOGUÉS, S. & STEAD, D. (2020). Parking futures: preparing European cities for the advent of automated vehicles. *Land Use Policy*, 91, 104010.
- HAWKINS, A.J. (2020). Waymo will allow more people to ride in its fully driverless vehicles in Phoenix. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2020/10/8/21507814/waymo-driverless-cars-allow-more-customers-phoenix>
- HEINRICHS, D. (2016). Autonomous Driving and Urban Land Use. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Eds.), *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects* (pp. 213-231). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- HENNIG, E.I., SOUKUP, T., ORLITOVA, E., SCHWICK, C., KIENAST, F. & JAEGER, J. (2016). Urban Sprawl in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report. <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-sprawl-in-europe>
- HICKMAN, R. & BANISTER, D. (2014). *Transport, climate change and the city*. Routledge, London.
- HÖJER, M. & MATTSON, L-G. (2000). Determinism and backcasting in future studies. *Futures*, 32 (7), 613-634.
- HÖLTL, A., MACHARIS, C. & DE BRUCKER, K. (2018). Pathways to Decarbonise the European Car Fleet: A Scenario Analysis; Using the Backcasting Approach. *Energies*, 11(1), 20.
- HOMEM DE ALMEIDA CORREIA, G., LOOFF, E., VAN CRANENBURGH, S., SNELDER, M. & VAN AREM, B. (2019). On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 359-382.

- HOOK, L. (2016). Uber's Pittsburgh pitch at a driverless future. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/a8737288-7bee-11e6-b837-eb4b4333ee43>
- KARLSSON, A. & FREDRIKSSON, E. (2019). A Sustainable Future with Autonomous Vehicles for Passenger Transport. The Means to Reach a Sustainable Future with Autonomous Vehicles through a Backcasting Approach. Master's thesis. Gothenburg, Sweden: Department of Technology Management and Economics, Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/256969/1/256969.pdf>
- KERNSTOCK, W. (2019). Annual pilot overview report 2018. Version 1.0. https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/Annual_pilot_overview_report_2018_v1.0.pdf
- KPMG (2020). Autonomous Vehicles Readiness Index 2020: Assessing the preparedness of 30 countries and jurisdictions in the race for autonomous vehicles. KPMG International. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2020/07/2020-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>
- KRUEGER, R., RASHIDI, T.H. & ROSE, J.M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 69, 343-355.
- LEGACY, C., ASHMORE, D., SCHEURER, J., STONE, J. & CURTIS, C. (2018). Planning the driverless city. *Transport Reviews*, 39(1), 84-102.
- LI, S., SUI, P.-C., XIAO, J. & CHAHINE, R. (2019). Policy formulation for highly automated vehicles: Emerging importance, research frontiers and insights. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124, 573-586.
- LIU, H., KAN, X., SHLADOVER, S. E., LU, X.-Y. & FERLIS, R.E. (2018). Modeling impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on mixed traffic flow in multi-lane freeway facilities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 261-279.
- MAIA, S.C. & MEYBOOM, A. (2018) Understanding the Effects of Autonomous Vehicles on Urban Form. En: G. Meyer y S. Beiker (eds.) *Road Vehicle Automation 4*. Springer International Publishing, Switzerland. pp.201-221
- MARCHAU, V.A.W.J. & VAND DER HEIJDEN, R.E.C.M. (2003). Innovative methodologies for exploring the future of automated vehicle guidance. *Journal of Forecasting*, 22, 257-276.
- MARTÍNEZ, L.M. & VIEGAS, J.M. (2017). Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(1), 13-27.
- METZ, C. & CONGER, K. (2020). Uber, After Years of Trying, Is Handing Off Its Self-Driving Car Project. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2020/12/07/technology/uber-self-driving-car-project.html>

- MEYER, J., BECKER, H., BÖSCH, P.M. & AXHAUSEN, K.W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities? *Research in Transportation Economics*, 62, 80-91.
- MILAKIS, D., SNELDER, M., VAN AREM, B., VAN WEE, B. & DE ALMEIDA CORREIA, G.H. (2017a). Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1), 63-85.
- MILAKIS, D., VAN AREM, B. & VAN WEE, B. (2017b). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 21(4), 324-348.
- MILLARD-BALL, A. (2019). The autonomous vehicle parking problem. *Transport Policy*, 75, 99-108.
- MITMA (2020). Consulta pública previa del Anteproyecto de Ley de Movilidad Sostenible y Financiación del Transporte. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Gobierno de España. https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/audienciainfopublica/recursos/20200828_doc_consulta_borrador_oficina2.pdf
- NOGUÉS, S., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, E. & CORDERA, R. (2020). New urban planning challenges under emerging autonomous mobility: evaluating backcasting scenarios and policies through an expert survey. *Land Use Policy*, 95, 104652.
- NOURINEJAD, M., BAHRAMI, S. & ROORDA, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 109, 110-127.
- PAPA, E. & FERREIRA, A. (2018). Sustainable Accessibility and the Implementation of Automated Vehicles: Identifying Critical Decisions. *Urban Science*, 2(1), 1-14.
- PHDUNGSILP, A. (2011). Futures studies' backcasting method used for strategic sustainable city planning. *Futures*, 43(7), 707-714.
- QUIST, J., RAMMELT, C., OVERSCHIE, M. & DE WERK, G. (2006) Backcasting for sustainability in engineering education: the case of Delft University of Technology. *Journal of Cleaner Production* 14, 868-876.
- RIGGS, W., LARCO, N., TIERNEY, G., RUHL, M., KARLIN-RESNICK, J., & RODIER, C. (2019). Autonomous vehicles and the built environment: Exploring the impacts on different urban contexts. In G.Meyer & S.Beiker (Eds.), *Road vehicle automation* 5, pp. 221–232. Springer International Publishing.
- ROBINSON, J., BURCH, S., TALWAR, S., O'SHEA, M. & WALSH, M. (2011). Envisioning sustainability: recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research. *Technol. Forecast. Social Change*, 78, 756-768.
- RODRÍGUEZ, J.-P. (2020). *The geography of transport systems*. Fifth Edition. Routledge, New York (First Edition: 2006).

- RPA (2017). *New Mobility: Autonomous Vehicles and the Region. A Report of the Fourth Regional Plan*. Regional Plan Association. <http://fourthplan.org/reports/new-mobility>
- SAE ON-ROAD AUTOMATED VEHICLE STANDARDS COMMITTEE, 2014. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. SAE International. https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/
- SAGHIR, C., & SANDS, G. (2020). Realizing the Potential of Autonomous Vehicles. *Planning Practice & Research*, 35, 267-282.
- SCHWARTZ, P. (2012). *The art of the long view: planning for the future in an uncertain world*. Crown Business, New York (First Edition: 1991).
- SHLADOVER, S.E., SU, D. & LU, X.-Y. (2012). Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway Traffic Flow. *Transportation Research Record*, 2324(1), 63-70.
- SORIA-LARA, J.A. & BANISTER, D. (2017). Participatory visioning in transport backcasting studies: Methodological lessons from Andalusia (Spain). *Journal of Transport Geography* 58, 113-126.
- 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.
- SOUSA, N., ALMEIDA, A., COUTINHO-RODRIGUES, J. & NATIVIDADE-JESUS, E. (2018). Dawn of autonomous vehicles: review and challenges ahead. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 171 (1), 3-14,
- STARICCO, L., RAPPAZZO, V., SCUDELLARI, J. & VITALE BROVARONE, E. (2019). Toward Policies to Manage the Impacts of Autonomous Vehicles on the City: A Visioning Exercise. *Sustainability*, 11(19), 5222.
- STARICCO, L., VITALE BROVARONE, E. & SCUDELLARI, J. (2020). Back from the future. A backcasting on autonomous vehicles in the real city. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 13 (2), 209-228.
- STEAD, D. & VADDADI, B. (2019). Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies. *Cities*, 92, 125-133.
- STECK, F., KOLAROVA, V., BAHAMONDE-BIRKE, F., TROMMER, S. & LENZ, B. (2018). How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting. *Transportation Research Record*, 2672(46), 11-20.
- TESLA INC. (2020). *Tesla Vehicle Safety Report. Accident data Q4 2020*. https://www.tesla.com/es_ES/VehicleSafetyReport

THAKUR, P., KINGHORN, R. & GRACE, R. (2016). Urban form and function in the autonomous era. 38th Australasian Transport Research Forum (ATRF). Melbourne, Victoria, Australia.

https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/sites/default/files/ATRF2016_paper_138.pdf

TOWNSEND, A. (2014) Reprogramming mobility: The digital transformation in the United States. University Wagner-Rudin Center for Transportation Policy & Management, New York.

VADDADI, B. (2017). Autonomous Shared Mobility & the Cities of Tomorrow: Impact of shared self-driving vehicles on the urban form of the city of Amsterdam. Trabajo Fin de Máster. Faculty of Architecture, Delft University of Technology, Delft.

VITALE BROVARONE, E., DAVICO, L., SCUDELLARI, J. & STARICCO, L. (2019). Il futuro è adesso. Governare gli impatti spaziali dei veicoli a guida autónoma. Territorio, 88, 149-156.

WANGEL, J. (2011). Exploring social structures and agency in backcasting studies for sustainable development. Technological Forecasting and Social Change 78, 872-882.

WAYMO (2020). Waymo Safety Report. September 2020. <https://storage.googleapis.com/sdc-prod/v1/safety-report/2020-09-waymo-safety-report.pdf>

ZAKHARENKO, R. (2016). Self-driving cars will change cities. Regional Science and Urban Economics, 61, 26-37.

ZHANG, W. y GUHATHAKURTA, S. (2017). Parking Spaces in the Age of Shared Autonomous Vehicles: How Much Parking Will We Need and Where? Transportation Research Record, 2651(1), 80-91.

ZHANG, W., GUHATHAKURTA, S., FANG, J. y ZHANG, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. Sustainable Cities and Society, 19, 34-45.