

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona – UPC

*Adaptación de la ciudad de Barcelona para la
implantación de vehículos autónomos*



Carlos Tiana Gómez
Trabajo de fin de grado
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
Junio de 2017
Tutor: Luis Pons

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el impacto que tendría en diversos ámbitos – económico, social, medioambiental – la implantación del vehículo autónomo en la ciudad de Barcelona.

Se inicia hablando del nivel de desarrollo actual del vehículo autónomo, qué tecnologías son necesarias para su correcto funcionamiento, a qué nivel se sitúan los diversos fabricantes y cuáles son los aspectos a mejorar en el futuro inmediato.

Posteriormente, se procede a un análisis de los problemas derivados del tráfico en la ciudad de Barcelona, tales como la contaminación, los accidentes o el ruido. Después de considerar las opciones que se están llevando a cabo para paliarlos, y de desestimarlas por considerarse que, o no son efectivas o no lo son tanto como lo sería un vehículo autónomo, se estudia en profundidad los efectos, y en concreto sobre Barcelona, de la implantación masiva de vehículos autónomos.

Antes de analizar el impacto en la ciudad, se estudian las diferentes modalidades en que se podrían adoptar los coches autónomos. Se establece que la opción más probable es que éstos fueran propiedad de una empresa que ofreciera el transporte como servicio, esto es, como taxis bajo demanda; aunque flotas compartidas entre usuarios, que no fueran propiedad de una empresa, también resulta una opción plausible. En el ámbito del transporte de bienes en una ciudad se establece que el vehículo autónomo es, sin lugar a dudas, un cambio a mejor para las entregas a consumidores, mientras que el mismo servicio no resultaría viable a empresas.

Las soluciones encontradas son sumamente positivas: el coche autónomo podría reducir las congestiones, la contaminación y problemas de aparcamiento; compartiéndolo tendría un coste de trayecto menor a poseer un coche hoy en día, y aumentaría la productividad de sus usuarios. Como efecto secundario, además, se encuentra que cambiaría el sistema de negocio de la industria automotriz y relacionadas – seguros, mantenimiento y reparación, entre otras – e incluso la morfología urbana.

Sumario

RESUMEN	1
1 PREFACIO	6
1.1 Origen.....	6
1.2 Motivación	6
2 INTRODUCCIÓN	7
2.1 Objetivos.....	7
2.2 Alcance.....	7
3 MARCO TEÓRICO	8
3.1 Definición.....	8
3.1.1 Niveles de autonomía	8
3.2 Funcionamiento.....	10
3.2.1 Machine learning.....	10
3.2.2 Sistemas Hardware.....	10
3.2.2.3 <i>GPS y sistema de navegación inercial</i>	11
3.3 Internet of Things.....	12
3.3.1 Definición	12
3.3.2 Relación con el coche autónomo	12
3.3.3 Barcelona.....	13
3.4 Estado del arte	14
3.4.1 Problemas.....	14
3.5 Nivel de desarrollo.....	17
3.5.1 Waymo – Google	17
3.5.2 Ford	18
3.5.3 Uber	18
3.5.4 General Motors	18
3.5.5 Tesla	19
3.5.6 Toyota.....	19
3.5.7 Volkswagen.....	20
3.5.8 Volvo.....	20
3.5.9 BMW	20
3.5.10 Mercedes	21
3.5.11 Nissan.....	21
3.5.12 Apple.....	22

3.6	Diseño dominante	22
3.6.1	Diseño dominante y coche autónomo	23
3.7	Problemas en Barcelona.....	24
3.7.1	Tráfico.....	24
3.7.2	Exceso de coches.....	24
3.7.3	Contaminación.....	25
3.7.4	Accidentes	26
3.7.5	Ruido	30
3.7.6	Aparcamiento.....	31
3.8	Los taxis en Barcelona.....	31
3.8.1	Problemas con las VTC	32
3.8.2	Diferencias entre taxi y VTC	32
3.9	Medidas tomadas y soluciones estudiadas	33
3.9.1	Plan de movilidad urbana.....	33
3.9.2	Programa de medidas contra la contaminación atmosférica.....	34
3.9.3	Plan de acción: mejora y recuperación de la calidad acústica	35
3.9.4	Calendario de restricciones de vehículos altamente contaminantes.....	35
3.10	Modalidades de transporte compartido.....	36
3.10.1	Carpooling	36
3.10.2	Carsharing	40
4	IMPLEMENTACIÓN DEL COCHE AUTÓNOMO	42
4.1	Implantación.....	42
4.1.1	Desplazamientos personales	42
4.1.2	Reparto autónomo	47
4.1.3	Transporte público	49
4.2	Implantación en Barcelona	50
4.2.1	Infraestructuras físicas	50
4.2.2	Infraestructuras virtuales.....	50
4.2.3	Medidas regulatorias.....	51
4.3	Impacto	52
4.3.1	Dimensiones del impacto	52
4.3.2	Mcity	53
4.3.3	Impacto sobre las ciudades	53
4.4	Costes.....	60
4.4.1	Reducción de los accidentes	61
4.4.2	Reducción recaudación multas de tráfico	61
4.4.3	Parquímetros	61
4.4.4	Automatización transporte público:	62

5	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	63
5.1	Túneles subterráneos.....	63
5.2	Drones.....	64
5.3	Robots autónomos	65
6	VIABILIDAD	66
6.1	Económica.....	66
6.2	Social.....	66
6.3	Medioambiental	67
7	NORMATIVA	68
8	CONCLUSIONES	69
9	BIBLIOGRAFÍA	71
9.1	Referencias bibliográficas	71
10	ANEXO	74
10.1	Imágenes.....	74
10.1.1	Representación de lo que “ve” un sensor Lidar.....	74
10.1.2	Sistemas hardware de un coche autónomo	75
10.1.3	Coches autónomos en desarrollo de Waymo	75
10.1.4	Prototipo de vehículo de reparto con casillas.....	76

1 PREFACIO

1.1 Origen

La aparición del coche supuso un cambio radical en la forma en que se desplazaban las personas. A medida que la tecnología se fue abaratando, y el número de habitantes en las ciudades aumentaba, también lo hacía el de automóviles. Los beneficios que se obtienen son indiscutibles, y si apenas si se han producido cambios en los coches en 50 años es porque, hasta hace poco, no eran necesarios. La alta densidad de las urbes modernas combinado con el relativo bajo precio de los automóviles ha comportado que las ciudades se inunden de coches. Los inconvenientes, sin embargo, hace poco que se detectaron.

Accidentes, contaminación, ruido o congestiones, todos son problemas a los que los barceloneses se enfrentan a diario. Es indiscutible que el tráfico rodado genera una gran cantidad de problemas para cuya solución no parece llegar nunca. La población, a menos que aparezca un nuevo medio de transporte más barato, no parece dispuesta a cambiar sus hábitos de transporte. Con la aparición del coche autónomo, una posible solución se perfila. Es, por tanto, imperativo analizar si dicha solución es viable, y qué efectos tendría sobre Barcelona.

1.2 Motivación

La principal motivación de este trabajo es la novedad. Continuamente aparecen noticias sobre los avances que diversos fabricantes realizan en materia del coche autónomo; sin embargo, éste parece no llegar nunca. Los defensores de esta nueva tecnología afirman que evitaría accidentes, reduciría la contaminación y nos ahorraría tiempo. A pesar de ello, son raras las noticias sobre el impacto que éste tendría, el alcance de dicho cambio o siquiera si éste es realmente viable. Así pues, el trabajo que a continuación se desarrolla tiene por origen de la inquietud de resolver estos enigmas, de aclarar las dudas que pueda surgir y de estudiar en un entorno concreto, la ciudad de Barcelona, el impacto que pueda tener.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Objetivos

El proyecto que aquí se presenta nace con el objetivo de estudiar los cambios necesarios en la ciudad de Barcelona para facilitar la implantación eficaz de los vehículos autónomos, con el fin de optimizar el tráfico en la ciudad y reducir la contaminación, y estudiar el impacto que dicha implantación tendría.

Además, se establecen como objetivos secundarios estudiar el estado actual de los vehículos autónomos a nivel técnico, social y de la legislación relativa existente; así como evaluar las diferentes posibilidades que existen en desarrollo.

2.2 Alcance

Debido al potencial revolucionario del coche autónomo, ya catalogado por expertos como la mayor disrupción en el transporte desde la invención del propio automóvil, se estudiará el impacto diversos ámbitos a lo largo del trabajo; como seguridad, economía o sociedad. Dado que se trata de un tema aún en desarrollo, y ante la imposibilidad de realizar cálculos certeros, en algunos apartados no existirá otra salida que hablar de suposiciones.

Aunque el trabajo tiene como centro a la ciudad de Barcelona, se tratarán estadísticas de otras ciudades o países que se puedan extrapolar cuando la información necesaria no esté disponible sobre la ciudad estudiada.

Finalmente, en cuanto al marco temporal se refiere, éste comienza en 2020 o 2021, fecha en que se espera que aparezca el primer vehículo autónomo comercial. Sin embargo, se referirán estudios anteriores que se consideren de relevancia, por sentar las bases de todo lo aquí tratado. Si el comienzo no está claro, el fin aún menos. Se establece que se hablará, por lo menos, de dos décadas, pues es en 2040 cuando se espera que el coche autónomo se haya asentado. A pesar de ello, habrá situaciones que no se podrán producir hasta 2060, cuando el vehículo autónomo ya sea, con gran diferencia, el principal método de transporte.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Definición

Se entiende como vehículo autónomo aquel automóvil no pilotado capaz de imitar las habilidades humanas de manejo y control, mediante la percepción del entorno, la interpretación de la información existente y la toma de decisiones pertinente. Para ello, además de los sensores de diversa índole requeridos, los vehículos autónomos necesitan una previa reproducción cartográfica del terreno.

3.1.1 Niveles de autonomía

Debido al estado prematuro de los vehículos autónomos, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés) ha definido 6 niveles de autonomía, con el fin de poder categorizar los modelos existentes, los que se encuentran en desarrollo y los que se prevé que aparezcan. Estos se pueden consultar en la tabla inferior

Como se puede derivar de la tabla, varios de los modelos que salen al mercado ya cuentan con un nivel 2 de autonomía, con ayudas como mantenerse dentro del carril o velocidad crucero ajustable. Algunas marcas de vehículos de alta gama, como Tesla, ya han incluido sistemas de pilotaje asistido en sus modelos, situándolos en el nivel 3, que se podría considerar el primer paso hacia un vehículo autónomo. En el caso de la californiana es conocido su Autopilot, que se asemeja mucho a una conducción autónoma en ciertos entornos. Por poner un ejemplo, para cambiar de carril en autopista el conductor sólo ha de tocar el intermitente, si sujetar el volante, y el coche hará el resto. Esto no quita que el conductor deba estar atento y juzgar las decisiones del coche, pues él es el responsable de sus acciones.

NIVEL SAE	Nombre	Definición	Volante y pedales	Monitorización del entorno	Tareas de conducción dinámica ¹	Modos de conducción
0	Sin automatización	El conductor debe estar atento a en todo momento durante la conducción dinámica, aunque puede estar ayudado por sistemas de aviso o intervención.	Conductor	Conductor	Conductor	Ninguno
1	Asistencia al conductor	Un sistema de ayuda ejecuta un modo de conducción específico que controla el volante o la aceleración / deceleración mediante la información del entorno, y confiando al conductor todas las demás tareas de conducción dinámica.	Conductor	Conductor	Conductor	Algunos
2	Automatización parcial	Varios sistemas de ayuda ejecutan un modo de conducción específico que controla el volante y la aceleración / deceleración mediante la información del entorno, y confiando al conductor todas las demás tareas de conducción dinámica.	Sistema	Conductor	Conductor	Algunos
3	Automatización condicionada	Un sistema de conducción automatizado ejecuta un modo de conducción específico que controla todos los aspectos de la conducción dinámica, esperando que el conductor intervenga en caso necesario.	Sistema	Sistema	Conductor	Algunos
4	Alta automatización	Un sistema de conducción automatizado ejecuta un modo de conducción específico que controla todos los aspectos de la conducción dinámica, incluso si el conductor no responde adecuadamente a una petición de intervención	Sistema	Sistema	Sistema	Algunos
5	Automatización total	Un sistema de conducción automatizado ejecuta todas las tareas de conducción dinámica en todo tipo de calzadas y entornos que podría manejar un conductor.	Sistema	Sistema	Sistema	Todos

Tabla 3.1.1: Niveles de automatización según la SAE [1]

¹Tareas de conducción dinámica: Incluyen los aspectos operacionales (volante, pedales, mantenerse en la calzada) y tácticos (respuesta a eventos, decidir cuándo cambiar de carril, uso de intermitentes...), pero no estratégicos (determinar origen, destino y ruta).

3.2 Funcionamiento

En este apartado se hablará de los sistemas y tecnologías que permiten automatizar a un coche autónomo. En concreto, del machine learning, que permite que los coches “aprendan” en vez de tener que programarlos, y de los sistemas que componen el hardware: Lidar, radar, GPS y cámaras.

3.2.1 Machine learning

El machine learning es una rama de la inteligencia artificial que, tal y como su nombre indica, pretende conseguir que las máquinas aprendan. Para ello existen diversas técnicas, pero el objetivo es que el ordenador en cuestión sea capaz de detectar patrones y probabilidades entre los datos aportados, y predecir futuras acciones externas.

Evita tener que programar todos los posibles eventos y establecer soluciones para ellos, cosa imposible, y en cambio se intenta que el coche pueda decidir la mejor solución para cada ocasión. Esto se consigue mostrando imágenes con diversas situaciones, de las cuales el coche conoce la solución. El vehículo ensaya diversas soluciones, y aunque al principio cometa muchos errores, sus resultados se van afinando a medida que establece similitudes entre las situaciones y las soluciones establecidas. Además, se complementa con modelos probabilísticos, de forma que el coche también pueda estimar las reacciones de los objetos de su entorno.

3.2.2 Sistemas Hardware

3.2.2.1 LIDAR

Sensor de luz, proveniente del inglés *Laser Imaging Detection Ranging*. El principio de funcionamiento es el mismo que el de un radar, pero cambiando las ondas de radio por haces láser. Emite dichos rayos, que rebotan contra objetos y vuelven al sensor, permitiéndole identificar objetos y la distancia hasta ellos. Realiza múltiples mediciones por segundo, y lo hace dando vueltas sobre sí mismo, lo que permite al coche crear un mapa en

3D del entorno. Generalmente tienen un alcance de 50 metros para el pavimento y de 120 metros para objetos como otros vehículos o árboles.

Ciertas marcas consideran que este sistema es prescindible, y que la información proveniente del resto de sensores es suficiente para navegar con seguridad, mientras que las que deciden integrarlo lo hacen de diversas maneras. Algunas, como Google, lo colocan sobre el techo, para que escanee todos los objetos alrededor del vehículo. Ford, por otro lado, ha optado por colocar Lidar más pequeños y orientados, para cubrir puntos críticos, mientras que Volvo sólo incorpora uno, camuflado en la parte delantera, para que el coche sepa exactamente qué es lo que tiene enfrente. En el anexo 10.1.1 se puede apreciar una imagen de lo que el coche “ve” mediante este sistema.

3.2.2.2 Radar

Los coches autónomos también tienen sensores radar, situados en partes estratégicas del vehículo (delante, detrás y a los lados, normalmente). Éstos permiten calcular de forma precisa la distancia a los objetos del entorno más inmediato, como la distancia de seguridad respecto al coche de delante, u posibles objetos cuando vaya marcha atrás.

3.2.2.3 GPS y sistema de navegación inercial

El GPS contiene mapas detallados de la región por la que circula el coche, de forma que pueda conocer su posición exacta, planificar la ruta, conocer las posibles direcciones y prever las direcciones por las que pueden aparecer otros vehículos. Además, el sistema de navegación inercial está compuesto por un conjunto de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros que permite conocer sus datos acerca de la velocidad y aceleración para identificar el movimiento del vehículo.

3.2.2.4 Cámara

El último componente del vehículo autónomo es una cámara – a veces son varias, pero todas con la misma función – con el objetivo de identificar los carriles de la vía y otras señales de la calzada, pero también semáforos y posibles señales de tráfico.

3.3 Internet of Things

A lo largo de este apartado se tratará del concepto del Internet of Things, empezando por una definición del mismo, para pasar después a su relación con el coche autónomo y las ciudades, y como éstas se podrían beneficiar.

3.3.1 Definición

El Internet of Things (IoT, o Internet de las Cosas) es un concepto basado en la conexión entre un objeto y cualquier otro de su alrededor. El objetivo es hacer que todos ellos se puedan comunicar entre sí, compenetrándose y aumentando las posibilidades que puedan ofrecer. Así, por ejemplo, se habla de neveras conectadas a internet con sensores para detectar la cantidad de productos en su interior y con capacidad para ordenar más cuando alguno de ellos se esté agotando; o lavadoras que se puedan programar desde el móvil.

Aunque de forma incipiente, ya se pueden ver algunos casos de IoT en el mundo que nos rodea, como los smartwatches. Dadas las enormes posibilidades que ofrece y el amplio abanico de campos a los que afecta, se considera que será la próxima revolución digital.

3.3.2 Relación con el coche autónomo

Si se habla aquí del Internet of Things es porque es un tema crucial para la implantación del coche autónomo. Si bien se han mencionado anteriormente aspectos domésticos, el IoT es aplicable también a ciudades enteras. En el caso que aquí se trata, concretamente, sería la conexión del coche con la ciudad y la conexión entre los diversos vehículos, pudiendo tomar decisiones de manera óptima y sin necesidad de supervisión humana. Algunas de las aplicaciones que tendría, entre otras, serían:

Vehículos conectados con la ciudad:

- Coordinar los semáforos de toda la ciudad con el tráfico, minimizando tiempos de espera.
- Dar indicaciones para desviar vehículos por vías alternativas para no colapsar calles.
- Conectar los coches a sensores de contaminación, para aliviar ciertas áreas.

Vehículos conectados entre ellos:

- Aumento de la información disponible: mejor toma de decisiones. Podrían anticiparse a los acontecimientos, por ejemplo, si saben que el coche de delante va a frenar bruscamente, o que hay un problema en el terreno.
- Proximidad de los vehículos de urgencia, facilitándoles la circulación.
- Rutas de los coches de alrededor para optimizar el tráfico.

Así pues, la evolución del internet de las cosas y la implantación definitiva de los vehículos autónomos son dos temas que están estrechamente relacionados, y no se puede dar una conducción autónoma efectiva sin llegar al grado de conexión entre objetos que estipula el IoT. Cabe destacar, además, que en el ámbito del coche autónomo tan conectado se han realizado pocos progresos, pues no hay ninguna marca que haya mostrado gran interés en participar con ciudades ni otras empresas del sector.

3.3.3 Barcelona

Cuando el Internet of Things aplicado a las ciudades, además de otros conceptos, produce lo que se conoce como ciudades inteligentes, o smart cities. Esta nueva calificación indica que la ciudad está equipada con sensores y actuadores con el fin mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y aumentar la eficiencia de los sistemas que la integran.

La ciudad condal es una de las pioneras en cuanto a smart city se refiere. Los esfuerzos que se han producido por integrar sensores y aumentar los servicios de aspecto tecnológico son notables, y se han producido importantes mejoras en aspectos como comunicaciones, iluminación o transporte público. Sin embargo, aparte de una app para facilitar el aparcamiento en zonas azules y verdes (Apparkb) aún no se han integrado mejoras tecnológicas relevantes orientadas a mejorar la gestión de tráfico en la ciudad, ni la conectividad con los vehículos que por ella circulan. Es por ello que, si lo que se pretende es una integración rápida de un gran número de coches autónomos en el futuro cercano, es imperativo aumentar el número de recursos dedicados a optimizar el tráfico urbano.

Algunas de las mejoras que se podrían poner en práctica son:

- Sensores de tráfico en tiempo real, con paneles luminosos – o directamente conectados a los coches con la infraestructura necesaria – con el fin de desviar el tráfico de las rutas más congestionadas.

- Semáforos conectados entre sí y, en primera instancia, con los vehículos de emergencia (ambulancias, cuerpos de seguridad, bomberos) para facilitarles trayectos de urgencia y coordinar mejor la circulación por ciudad.

3.4 Estado del arte

3.4.1 Problemas

Aunque el coche autónomo está muy cerca de ser una realidad, lo cierto es que aún hay ciertos problemas que se deben solventar. Si lo que se pretende es una conducción totalmente autónoma, el coche ha de ser capaz de circular sin necesidad de supervisión de un conductor, por lo que ha de ser a prueba de cualquier error, y su seguridad muy elevada.

3.4.1.1 Tecnológicos

A nivel tecnológico, los principales problemas que se pueden encontrar son:

- Dificultad para conducir en condiciones de baja visibilidad (noche, lluvia, nieve o niebla).
- Terrenos húmedos o mal asfaltados.
- Reconocimiento de peatones que se agachan delante del vehículo, y se han dado casos en que se saltaban semáforos en rojo.

Aunque sean hechos que ocurran de forma muy aislada, y un ser humano pueda cometer el mismo error, no se puede confiar la seguridad de los ocupantes ni de los demás transeúntes a las decisiones de un coche que no sea perfecto.

A continuación se presenta una tabla que muestra todas las veces que un humano ha tenido que intervenir – debido a fallos en el sistema de control – en las pruebas de circulación de diversas empresas que están desarrollando los coches autónomos. Dichas pruebas se han realizado en entornos de tráfico reales (carreteras, ciudades...) en el estado de California, EE.UU. en 2016, y los datos presentados aquí son exigidos por ley. Notar que no todas las pruebas se realizan en los mismos entornos: mientras que algunas empresas sólo realizan sus ensayos en autopistas, otras se atreven en entornos urbanos.

EMPRESA	MILLAS RECORRIDAS	FALLOS	FALLOS / 1.000 MILLAS
Google ¹	635.868	124	0,20
Cruise Automation (GM)	10.015	284	28,36
Nissan	4.099	178	43,43
Bosch	983	1.442	1466,94
Mercedes-Benz	673	336	499,26
BMW	638	1	1,57
Ford	590	3	5,08
Tesla ²	550	182	330,909

Tabla 3.4.1.1: Número de incidencias de coches autónomos por marca en California, USA.

www.wired.com

¹ Google sólo reporta los fallos que, mediante simulación posterior, determinan que habrían desembocado en accidente. Las veces que una persona cogió el volante son superiores, pero no las reporta.

² Tesla reporta los fallos de la función Autopilot de sus modelos que, pese a estar cerca de ser un vehículo autónomo, no lo es. Por otro lado, recoge información de los conductores de sus coches, por lo que en realidad dispone de datos de muchas más millas recorridas.

Como se puede observar, la delantera de Google respecto a otras marcas es considerable. El gigante tecnológico cuenta con un software muy avanzado, por lo que se considera que sus vehículos son de los más inteligentes. Por otro lado, las otras marcas han aumentado recientemente los recursos dedicados, y muchas de ellas ya habían llevado a cabo pruebas en entornos secretos antes de iniciar los ensayos públicos, por lo que la información de que disponen es mayor de la que se refleja en la tabla.

3.4.1.2 Sociales y legislativos

Aparte de las dificultades técnicas existentes para hacer del coche eléctrico una realidad, existen problemas de ámbito legislativo y social que se deben solventar, como la legislación vigente, el seguro del vehículo o la responsabilidad ante una multa.

3.4.1.2.1 Legislación y coche autónomo

La legislación actual sobre el coche autónomo es poco clara. Muchos países de momento no aceptan aún la libre circulación de coches sin conductor, y los que lo hacen, requieren de una persona vigilando y lista para tomar el control. Es por ello que los diferentes estados deben estudiar la situación actual con el fin de poder adaptar la legislación pertinente a tiempo.

Sin embargo, países como Holanda han permitido recientemente hacer pruebas de convoyes de camiones (un camión pilotado delante, y otros autónomos que le siguen), en ciertos estados de EE.UU. (como California) y recientemente en España se permite realizar pruebas de conducción autónoma, aunque debe haber siempre un conductor controlando.

3.4.1.2.2 Seguro

Otro punto de crucial importancia es el seguro. Actualmente, en el estado español es obligatorio que el conductor de un vehículo esté asegurado. Si el vehículo fuera autónomo, por otro lado, surgen dudas acerca de quién debería asumir la responsabilidad: ¿el fabricante, puesto que es él quien programa el coche; o el usuario, haciéndose responsable de lo que su coche haga?

Algunas marcas, como Volvo, ya han prometido que se harían responsables en caso de accidente de un coche autónomo programado por ellos si éste se debe a un fallo técnico. Además, se debería estudiar también hasta qué punto está un humano autorizado a manejar un coche autónomo, y qué grado de responsabilidad asume. Algunos líderes tecnológicos, como Elon Musk (CEO de Tesla) han llegado a asegurar que en un futuro no muy lejano conducir estará prohibido.

3.4.1.2.3 Multas

En la misma línea, en el caso de que un coche autónomo hiciera alguna infracción se debería establecer quién paga la multa (pese a lo ideal sería que no hubiera infracciones no es algo que se debería obviar).

Finalmente, cabe destacar que la implantación de coches autónomos conllevará una pérdida de puestos de trabajo – principalmente trabajos como taxista o transportista. Si se pretende una implantación rápida y masiva del vehículo autónomo es preciso estudiar qué hacer con estos colectivos, así como ofrecerles salidas profesionales alternativas.

3.4.1.3 Problemas éticos

Además de los problemas antes mencionados, existen una clase de problemas que comienzan a aparecer ahora, y para los cuales no parece haber una clara solución. Se trata de las dificultades de ámbito ético, es decir, cómo debería reaccionar un coche ocupado ante un dilema moral. Dado se trata de una máquina, el coche no puede tomar una decisión instintiva, y por tanto la solución a semejante problema debe estar programada de antemano.

El caso más típico sería cuando un coche se encontrara, súbitamente y sin posibilidad de frenar a tiempo, con varios peatones (para el caso, un número mayor que el de ocupantes del vehículo). ¿Debe el coche preservar el mayor número de vidas posible, intentando evitar a los peatones, aún a costa de la vida de sus ocupantes? ¿O debería preservar siempre la vida de sus usuarios?

Las principales marcas que desarrollan prototipos aún no se han puesto de acuerdo, y no cabe duda de que la solución final vendrá impuesta por organismos legisladores, pero es un problema que se debe abordar cuanto antes. Además, si se diera el caso de que el coche priorizara salvar más vidas a costa de sus ocupantes, podrían disminuir las ventas esperadas. Habrían haber futuros compradores que se echaran atrás por miedo a esta situación y la falta de control en situaciones como la anteriormente planteada.

3.5 Nivel de desarrollo

En este apartado se hablará del estado de desarrollo de los prototipos de cada marca, sus planes de futuro y los resultados de las pruebas realizadas.

3.5.1 Waymo – Google

Waymo es una empresa perteneciente a Alphabet Inc., la empresa madre de Google. El proyecto nació en 2009, y actualmente es una de las empresas con mejores resultados en la materia y con más distancia recorrida. Sus sensores alcanzan más de 240 metros en todas las direcciones, y a pesar de que se han visto involucrados en algunos accidentes, siempre han sido por culpa de otros conductores.

En 2009 hicieron más de 100 millas con un Toyota Prius, operando en rutas definidas. Tres años más tarde, en 2012, empleados de Google realizaron más de 300 millas con Lexus RX450h en autopista, en trayectos de trabajo y de fin de semana. Además, ese mismo año hicieron las primeras pruebas en ciudades, con lo que eso conlleva: peatones, ciclistas, obras... Finalmente, en 2015 crearon "Firefly", un pequeño coche diseñado enteramente por Google, sin volante ni pedales, con el cual siguen realizando pruebas. Además ha lanzado el programa "Early Riders", en el que familias de Phoenix, Arizona, disponen de un monovolumen Chrysler Pacifica totalmente autónomo para sus viajes cotidianos, siendo estos los primeros ensayos públicos con coches autónomos. En el anexo 10.1.3 se pueden consultar imágenes de ambos.

3.5.2 Ford

Ford dispone de una flota de 30 Ford Mondeo (en EE.UU. es Fusion) híbridos y autónomos con los que realiza pruebas, aunque planea ampliar a 90 dicha flota. Llevan 10 años trabajando en la materia. Aunque sus progresos son notables, les queda mejorar la identificación de objetos a distancia y predecir las intenciones de movimiento en los próximos segundos de los objetos alrededor del coche. Avanzan con mucho cuidado, debido a la alta susceptibilidad pública respecto a los coches. La empresa americana prevé sacar en 2021 el primer coche de nivel de autonomía 4, sin volante ni pedales, aunque no piensa ponerlo a la venta: sería para servicios de paquetería o de taxi.

3.5.3 Uber

A pesar de ser una empresa nueva, y de no estar estrechamente ligada con el mundo de la tecnología, Uber trata de sustituir a sus conductores por coches que conduzcan solos. Cuenta con 43 coches en diversos estados de desarrollo, y ya ha empezado a hacer pruebas con público, aunque con un ingeniero tras los pedales. A pesar de ello, los coches de Uber requieren asistencia con frecuencia, se han visto involucrados en accidentes, y recientemente perdió un pleito con Google por el uso de la tecnología LIDAR en sus vehículos.

3.5.4 General Motors

El gigante americano ha empezado a probar vehículos Chevrolet Volt en terreno público recientemente – San Francisco, Scottsdale y Detroit – con una flota de más de 40 coches. Antes de eso llevaba un tiempo ensayando en terrenos privados, ya que trata toda la información relacionada con la materia con gran secretismo. Se conoce que sus avances son muy notables y que pretende disponer de una flota de cerca de 300 coches para dentro de poco, y de otra que ronde los miles de vehículos en conjunto con Lyft para 2018. Se espera que su primer coche autónomo salga dentro de unos dos años, siendo uno de los primeros.

3.5.5 Tesla

La empresa californiana cuenta, de momento, con el Autopilot en sus vehículos. Esta tecnología permite al coche situarse al nivel 3 de autonomía, el más alto hasta el momento. Así, el vehículo puede ajustar su velocidad, cambiar de carril o mantenerse en el mismo, aparcar solo, realizar incorporaciones o salidas, venir a recoger al propietario desde el garaje o avisar de accidentes y realizar frenadas de emergencia. El coche percibe objetos a una distancia de 250 metros por delante, 100 por detrás y 60 por los laterales.

A diferencia de otras muchas marcas, los coches de Tesla no utilizan sensores Lidar, y opinan que la información de los múltiples radares y cámaras es suficiente. Elon Musk, CEO de la empresa, ya ha prometido que a finales de 2017 uno de sus coches realizará un trayecto completamente autónomo a finales de 2017. Por otro lado, sus modelos actuales ya se pueden actualizar – previo pago – para que sean autónomos cuando la tecnología esté lista.

3.5.6 Toyota

A diferencia de los demás fabricantes, Toyota apuesta por dos tipos diferente de coche autónomo. La primera versión, conocida como “Chófer”, sería un coche totalmente autónomo con discapacitados y ancianos como público objetivo. La segunda, llamada “Ángel Guardián” sería una ayuda al conductor que tomaría el control para evitar accidentes y controlaría el estado del conductor. Obviamente, esta última es más fácil de implementar y llegará antes.

A pesar de sus propuestas, Toyota lleva un considerable retraso en la carrera por el coche autónomo; principalmente debido a la falta de datos, de los que muchas otras empresas ya disponen gracias a las pruebas que han ido realizando.

3.5.7 Volkswagen

La compañía alemana presentó en el salón de Ginebra de 2017 un concepto de coche con nivel de autonomía 5, conocido como Sedric (del inglés SElf DRiving Car, coche que conduce solo). Aunque no será un coche comercial, indica la dirección que pretende tomar todo el grupo Volkswagen en el asunto del coche autónomo.

Por otro lado, Audi, perteneciente también al conglomerado alemán, planea sacar al mercado una versión de su modelo A8 con nivel 3 de autonomía. Destacar que la empresa ya había desarrollado coches autónomos antes, a nivel de coche experimentales, en 2005; y que lleva más de 20 años trabajando en el ámbito.

3.5.8 Volvo

La marca sueca ha puesto en marcha el programa “Drive Me”, que involucra al sector público, privado y académico, con el cual ensayan con coches Volvo XC90 en carreteras públicas con familias seleccionadas en Goteburgo, Suecia. La flota consta de 100 coches, y aunque de momento requieran supervisión, esperan poder lanzarlo al mercado en 2021. El objetivo es crear un coche con volante y pedales, de forma que se pueda alternar entre conducción autónoma o asistida.

A diferencia de muchas otras marcas, Volvo ha conseguido integrar los sensores en el coche, de forma que apenas llamen la atención. A nivel informático, la empresa lleva años recopilando datos de accidentes para poder predecir con exactitud multitud de situaciones, ya además quiere recopilar datos sobre el uso de sus vehículos, como los ojos de los conductores o los pedales. Destacar que son los primeros en asumir la futura total responsabilidad en caso de accidente con sus coches autónomos.

3.5.9 BMW

La empresa alemana pretende lanzar al mercado su primer vehículo totalmente autónomo para 2021, igual que muchos otros competidores suyos, y en 2017 piensa hacer pruebas con una flota de 40 BMW serie 7. Mientras, ya se ha asociado con Baidu (el mayor motor de búsqueda en China) para crear un coche autónomo en el país asiático, donde ya ha empezado a hacer pruebas.

Además, se ha asociado con Intel, reciente propietaria de Mobileye, empresa líder en visión por computador, machine learning, análisis de datos, mapas y localización; y Delphi. Juntos planean crear una plataforma para coches autónomos que otros fabricantes puedan adaptar, siendo los únicos con semejante propuesta.

3.5.10 Mercedes

Al igual que Volkswagen, Mercedes ha desarrollado un coche de investigación al que ha llamado F015 Luxury in Motion con el objetivo de estudiar cómo sería un coche en el futuro. El vehículo consta de volante y pedales, pero se pueden prescindir de ellos.

Por otro lado, algunas versiones de la clase E y S tienen cierto nivel de autonomía, conocido como Drive Pilot, que aspiran a hacerle la competencia a Tesla. En cuanto a lanzar coches autónomos, se muestran más conservadores, puesto que de momento sólo han prometido un nivel 3 de autonomía para 2021. Destacar que, sin embargo, ya tienen experiencia en el ámbito: en 2013 uno de sus coches hizo los 100 kilómetros que separan Mannheim y Pforzheim de forma autónoma. Relevante es también que han sido los primeros en afirmar que sus coches, en caso de duda, salvarán siempre a sus ocupantes.

3.5.11 Nissan

Nissan ha realizado diversas pruebas en Estados Unidos y Japón, si bien los resultados son desconocidos. Los que sí se saben, sin embargo, son los de sus recientes pruebas en Londres con un Nissan Leaf. El prototipo presenta un nivel de autonomía 3, pero la marca japonesa ha tomado una dirección algo diferente a las demás.

Nissan ha dotado a su prototipo de capacidad de decisión, de forma que cuando se enfrenta a un problema inesperado el coche cede el control al conductor. En un futuro, la idea es que sus vehículos, en situaciones insólitas – como obras que no aparecen en el mapa – envíen imágenes de sus cámaras a una persona encargada, llamada administrador de movilidad.

Este tomará el control y decidirá qué hacer, compartirá la información con el resto de vehículos para que estén preparados, y después devolverá el control al coche.

A nivel de mercado, la empresa ya comercializa en Japón su modelo Serena con nivel de Autonomía 1, que posiblemente también implementará en modelos europeos como el Qashqai, y espera ir añadiendo funciones en los años próximos. Así, en 2020 espera llegar al nivel 3 de autonomía.

3.5.12 Apple

La empresa de Cupertino se interesó por los coches autónomos ya desde 2008, sin embargo no fue hasta 2014 que iniciaron el Project Titan. Éste nació con el objetivo de crear un coche eléctrico. El proyecto fue evolucionando hasta el coche autónomo, y finalmente dio un giro en 2016, debido a dificultades para fabricar un coche propio careciendo de experiencia. Es por eso que decidieron trabajar en el software únicamente, para crear una plataforma que otros fabricantes puedan usar.

Aunque cuentan con un considerable retraso respecto a las otras empresas, Apple finalmente empezó las pruebas en carreteras públicas de California en abril de 2017. Los tres coches usados son Lexus RX450h, exactamente los mismos que usara Google hace unos años, adaptados con diversos sensores – incluido un Lidar – comprados a empresas especializadas. Desde la compañía, sin embargo, siguen afirmando que la viabilidad del proyecto aún está por revisar, y que se dará una respuesta definitiva a finales de 2017.

3.6 Diseño dominante

El diseño dominante es una teoría de gestión de tecnología introducida por Utterback y Abernathy en 1975, que permite establecer una serie de características de nuevos productos que se convierten en el estándar de la industria.

Cuando nace un nuevo producto, ni el mercado, ni la sociedad ni las propias empresas conocen el estándar para dicha nueva tecnología. Es por eso que cada fabricante decide escoger un camino diferente, con el objetivo de que su diseño sea el que triunfe. Finalmente, uno de ellos se convierte en el estándar, aceptado por la industria y el mercado. Además de

favorecer la estandarización de un producto, permite sentar las bases para establecer comparaciones y desarrollar tecnologías complementarias.

Un diseño dominante no tiene por qué ser mejor que la competencia, lo único que se requiere es una mayor aceptación, que puede ser por dependencia tecnológica. Un conocido ejemplo es el teclado de la vasta mayoría de ordenadores actuales, conocido como QWERTY. A pesar de no tener una disposición de las teclas óptima – en contraposición al DVORAK, especialmente diseñado para acelerar la escritura –, triunfó debido a la herencia de las máquinas de escribir.

Un diseño dominante se caracteriza por 5 etapas:

1. Una empresa dedica una etapa de investigación y desarrollo con el fin de crear una nueva tecnología o mejorar un diseño actual.
2. Se crea un primer prototipo, mandando un mensaje a la competencia para que aceleren su desarrollo.
3. Se lanza un primer modelo al mercado, principalmente dirigido a un pequeño grupo de consumidores, para que prueben la tecnología por primera vez.
4. Aparece una empresa que claramente lleva la delantera.
5. La tecnología en cuestión obtiene el dominio del mercado, convirtiéndose en el estándar.

3.6.1 Diseño dominante y coche autónomo

Actualmente, el diseño del coche autónomo, aunque ya se están realizando pruebas muy prometedoras, no está suficiente maduro. Hay empresas que, por lo que publican – no todos los fabricantes comparten la misma cantidad de información – tienen los prototipos en estados de desarrollo mucho más avanzado que otras, como Google frente a Honda. Se considera que actualmente se sitúa en la fase 2, aunque la 3 está ya muy cerca, puesto que varias firmas prometen coches autónomos en 2020 o 2021.

En cuanto al diseño en sí, aunque no se puede asegurar nada con claridad, se pueden observar dos marcadas tendencias: hacer un coche sin volante ni pedales, en el que el usuario no tenga que preocuparse absolutamente de nada, y vehículos donde se mantenga la figura del conductor, de forma que éste pueda activar el modo autónomo cuando no quiera conducir.

Hay quien ya se atreve a afirmar que en un futuro no muy lejano estará prohibido conducir, por lo que es probable que, en un principio, aparezcan ambas versiones. Inicialmente puede que triunfe la que mantiene volante y pedales por motivos de confianza y seguridad; pero que ésta se vaya viendo relegada a medida que la tecnología se imponga.

3.7 Problemas en Barcelona

En este apartado se discutirán los diferentes problemas relacionados con el transporte en la ciudad de Barcelona, y que la llegada masiva del vehículo autónomo podría solucionar. Así pues, se hablará del tráfico, el excesivo número de coches, la contaminación, los accidentes, el ruido y la falta de plazas de aparcamiento. Cabe destacar que el tráfico es el tercer mayor problema percibido en la ciudad, tras el paro y las condiciones laborales y el turismo; mientras que la contaminación ocupa el octavo puesto.

3.7.1 Tráfico

Barcelona es la ciudad con más tráfico de España, con un aumento continuado desde que se superaron los peores años de la crisis. Actualmente se mueven 1.079.523 vehículos cada día, lo que hace que el nivel de congestión sea del 31%, es decir, que los barceloneses pasan ese mismo porcentaje más de tiempo en sus turismos respecto al flujo normal. Además, en horas punta el nivel de congestión asciende a un 52%, y en total se pierden 28 horas en atascos en la ciudad.

3.7.2 Exceso de coches

Con 1,6 millones de habitantes, la ciudad condal cuenta con 584.848 coches privados, lo que resulta en un turismo cada 2,75 personas. Así pues, no es de extrañar que los niveles de ocupación, según el Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona, sean bajos en toda la ciudad, tal y como se puede apreciar en la tabla inferior.

La movilidad de los barceloneses por distritos

Tasa de ocupación media del transporte privado

Distrito de residencia	Ocupación media declarada en coche
BARCELONA	1,7
Ciutat Vella	1,7
Eixample	1,7
Sants-Montjuïc	1,6
Les Corts	1,7
Sarrià-St. Gervasi	1,8
Gràcia	1,9
Horta-Guinardó	1,6
Nou Barris	1,9
Sant Andreu	1,7
Sant Martí	1,5

Tabla 3.7.2: Número de ocupantes por vehículo en los distritos de Barcelona [2]

Además, dado el tamaño de la ciudad, Barcelona lidera el ranking español de ciudades en cuanto a densidad de vehículos por kilómetro cuadrado se refiere.

Actualmente ya existe un plan de movilidad urbana con el fin de reducir en 600.000 los transportes privados por la ciudad, con fecha de inicio en 2014 y fin en 2018, si bien los objetivos están lejos de cumplirse.

3.7.3 Contaminación

Los gases emanados de los turismos que circulan por la ciudad son la principal fuente de contaminación, con los problemas de salud y la disminución de la calidad de vida que ello conlleva.

Con el fin de solucionar el problema de forma urgente, puesto que los valores registrados son superiores a los recomendados, el ayuntamiento ha propuesto un calendario para ir eliminando los vehículos más contaminantes de forma progresiva de diversas zonas del área metropolitana de Barcelona.

3.7.3.1 Problemas derivados de la contaminación

La contaminación atmosférica supone un grave problema para los habitantes de la ciudad condal. De momento, se estima que si Barcelona cumpliera con los mínimos de contaminación se ahorrarían 3.500 muertes anuales, y sólo siguiendo los consejos del ayuntamiento se podrían salvar hasta 650 vidas. Los efectos sobre el cuerpo humano son los siguientes:

- El Nitróxido de Carbono (NO₂) provoca a corto plazo irritación de los ojos y del sistema respiratorio, mientras que a largo plazo puede ser la causa de un desarrollo pulmonar más lento en los niños, bronquitis en niños asmáticos y aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares en adultos.
- Las partículas en suspensión (PM_{2,5} y PM₁₀) originan numerosas alergias nasales y en los ojos, y afectan especialmente al sistema respiratorio y cardiovascular. Una exposición prolongada, incluso en bajas concentraciones, puede afectar a los pulmones e incluso desembocar en cáncer.
- La contaminación del aire puede afectar negativamente al desarrollo cerebral de los niños.
- Está directamente relacionada con la reducción en unos meses de la esperanza de vida.

3.7.4 Accidentes

A lo largo de este punto se analizarán datos sobre el número de accidentes de tráfico y víctimas en Barcelona: posteriormente, se estudiará el impacto social y económico derivado de ellos.

Debido al alto número de vehículos que circulan por la ciudad, los accidentes, de momento, son inevitables. Según datos de la Guardia Urbana, en 2015 se produjeron 19.238 accidentes en la ciudad, en los cuales fallecieron o fueron hospitalizadas 205 personas.

Dentro del mismo plan de movilidad urbana antes mencionado se encuentra como objetivos reducir el número de víctimas graves y mortales en un 20% respecto a 2013. En la tabla y

gráfico adjuntos se pueden consultar datos obtenidos por la DGT en 2015, así como comparativas con años anteriores, sobre el número de accidentes ocurridos en el municipio de Barcelona.

Notar que sólo se representan las víctimas, y no los causantes; y que aunque el número de accidentes es fluctuante, se puede apreciar un descenso en la cantidad de fallecidos y hospitalizados. Si los números no cambian, ya se habría cumplido el objetivo de reducir las víctimas graves en un 20%.

	Vías Urbanas			Vías interurbanas		
	Fallecidos	Heridos Hospitalizados	Heridos Leves	Fallecidos	Heridos Hospitalizados	Heridos Leves
Bicicletas	0	10	500	0	0	0
Ciclomotores	0	18	984	0	0	0
Motocicletas	15	73	5.044	1	0	7
Turismos	4	8	2.072	0	0	26
Furgonetas	1	1	156	0	0	2
Camiones	0	2	27	0	0	0
Autobuses	0	3	485	0	0	0
Otros vehículos	0	1	16	0	0	0
Peatones	10	59	1.165	0	0	0
Total	30	175	10.449	1	0	35

Tabla 3.7.4: Número y gravedad de accidentes en Barcelona [3]

Como es lógico, la mayoría de fallecidos y heridos hospitalizados son aquellos que disponen de menor protección: peatones, ciclistas y motoristas (incluidos ciclomotores). Sin embargo, esto no refleja que sean ellos los causantes de los accidentes, que muy probablemente sean vehículos de mayor tamaño, como turismos o similares. Es por eso que es imperativo evitar los accidentes causados por este tipo de vehículos, con el fin de reducir los daños causados a otros.



Figura 3.7.4.a: Fallecidos y hospitalizados en vías urbanas 2010-2015 [4]



Figura 3.7.4.b: Accidentes con víctimas en vías urbanas 2010-2015 [4]

3.7.4.1 Impacto social

Los accidentes, además de la tragedia que supone para las víctimas, familiares y amigos; tienen en conjunto un considerable impacto económico y social. En este apartado se pretende analizar el impacto que tienen los accidentes de tráfico en la sociedad española.

3.7.4.1.1 Mortalidad prematura

La DGT ha realizado diversos estudios sobre la seguridad vial y la siniestralidad, con la que ha elaborado un documento [5] del que se extraen los datos presentados a continuación.

Los accidentes de tráfico son una de las más importantes causas de mortalidad prematura, concretamente, la tercera causa externa más importante con un 15% de los fallecimientos en edades comprendidas entre los 15 y los 34 años. En el siguiente grupo, de 35 a 44 años, son la segunda causa externa de fallecimientos (un 26,2% del total), tras los tumores, con un 5,2%; y vuelven a ser la tercera causa de mortalidad por causas externas (11,9%) en personas de entre 45 y 54 años, detrás de los tumores y enfermedades cardiovasculares, con un 1,9%.

3.7.4.1.2 Años de vida perdidos

Otra medida que se emplea, con el fin de poder apreciar la pérdida de potencial humano debido a este tipo de situaciones, son los llamados Años Potenciales de Vida Perdidos (APVP). Esta medida permite reflejar la mortalidad en grupos de edad más tempranos, ya que sólo computa las muertes antes de la esperanza de vida y da más peso conforme más prematura sea ésta. En el caso de España, se calcula desde los 1 hasta los 79 años. En el caso de los hombres, se calcula que se perdieron 47.578 años de vida, con una media de 32,8 años – los que, de promedio, les quedarían por vivir –, mientras que en el caso de las mujeres los APVP son de 10.480 y la media es de 30,1. Como se puede observar, son cifras terribles y suponen una pérdida de potencial humano incalculable.

3.7.4.2 Impacto económico

El coste económico es altamente difícil de calcular, sobre todo cuando se habla de defunciones. No se le puede poner precio a una vida humana, al dolor de familiares y amigos, o las consecuencias que, sin ser mortales, pueda suponer un accidente de tráfico. Sin embargo, es un hecho que estos causan pérdidas económicas importantes. Es por ello que la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) elabora cada año un documento sobre seguridad vial donde, entre otras cosas, se trata de calcular el impacto económico de los accidentes de tráfico [6].

El estudio más reciente contiene datos de 2014, y calcula los costes divididos en hospitalizaciones, atención médica y defunciones. Para estimar estos costes utiliza el método de disposición al pago, en el que, mediante encuestas y análisis matemáticos, se

estima lo que estaría dispuesta a pagar la población para evitar los accidentes y sus consecuencias. Los daños materiales de propiedades y administrativos no se tienen en cuenta. Los últimos suelen ser irrelevantes, puesto que quedan diluidos entre los otros costes, mientras que los primeros sólo tienen importancia en casos donde no hay heridos. Destacar que esto es en la mayoría de los casos, por lo que los datos a continuación presentados podrían ser mayores.

COSTES ACCIDENTES DE COCHE, 2014

Coste unitario (€)		Datos según informes policiales		Datos según centros médicos	
		Número	Coste (mill. €)	Número	Coste (mill. €)
Fallecimientos	1,41 millones	1.688	2.380	1.688	2.380
Hospitalizaciones	220.329	9.574	2.109	19.118	4.212
Heridos leves	6.137	124.960	767	477.022	2.927
Total (mill. €)			5.256		9.519
% del PIB			0,5%		1%

Tabla 3.7.4.2: Coste de accidentes de tráfico según gravedad de las víctimas [6]

De la tabla se desprende que el lastre económico que se deriva de los accidentes es muy notable. En el caso de la estimación más baja, que tiene en cuenta solamente los datos de los informes policiales, la cifra es superior a la partida presupuestaria de sanidad para asistencia sanitaria (no de gestión y administración) de 2017, y más del doble de la dedicada a educación. Sin embargo, la otra cifra, de 9.519 millones de euros, sí que supera en más de mil millones al total dedicado a sanidad. Así pues, reducir el número de accidentes no sólo ahorraría disgustos a una gran cantidad de españoles, sino que mejoraría las arcas del estado en su conjunto.

3.7.5 Ruido

A pesar de no parecer un problema tan grave como los citados anteriormente, el ruido en las ciudades es algo a tener en cuenta. Sólo en España se calcula que se producen más de 1.000 muertes prematuras a consecuencia del ruido, además de otros efectos sobre la salud – molestias, estrés, problemas de sueño afecciones a las capacidades cognitivas e incluso enfermedades cardiovasculares – y el descenso de la calidad de vida que supone.

Se considera ruido excesivo aquél que supera los 55 dB durante el día y los 50 de noche, al que están expuestos 1,7 millones de habitantes de la corona metropolitana de Barcelona, y se estima que un 80% es debido al tráfico. De momento, desde el ayuntamiento de la ciudad ha puesto un servicio de control acústico, con mediciones periódicas, recomendaciones a los ciudadanos e información disponible, así como un mapa del ruido.

3.7.6 Aparcamiento

Barcelona es la segunda ciudad de toda España donde es más difícil aparcar, además de resultar la más cara, con un precio medio de 3,13 euros la hora. Dado el enorme parque móvil presente, no es de extrañar que en las inmediaciones de la Gran Vía de les Corts Catalanes y los alrededores de la calle Aragón los niveles rocen el 100% de ocupación. El resto de áreas de la ciudad también tienen valores altos, entre un 60% y un 90%.

3.8 Los taxis en Barcelona

En este apartado se explicarán las principales características de los taxis, con énfasis en la ciudad de Barcelona, y se estudiará el conflicto con las conocidas como VCT. Esto se debe a que el vehículo autónomo, al poder prescindir de conductor, muy probablemente afecte de forma significativa a este sector. De hecho, tal y como se ha comentado anteriormente, ya hay fabricantes automovilísticos que pretenden lanzar su propio servicio de transporte.

Actualmente existen 10.523 licencias de taxi en Barcelona, un número que prácticamente no ha cambiado en años. Cada licencia tiene un titular y está adherida a un coche; y habilita al conductor a transportar a 4 pasajeros. Vienen otorgadas sobre la base de los requisitos de la Ley de Taxi o del Reglamento Metropolitano del Taxi. El número máximo de licencias viene dado por el IMET (Instituto Metropolitano del Taxi), con el fin de asegurar la suficiencia del servicio en condiciones óptimas así como su rentabilidad para los operadores.

Las licencias se pueden adquirir, normalmente, en mercados de segunda mano (se pueden encontrar varias en portales como milanuncios), y pese a ser un mercado opaco, se calcula que el precio ronda los 135.000€. De todas las licencias disponibles, sólo 601 se encuentran en posesión de 128 empresas diferentes; 547 en manos de 236 autónomos con más de una licencia, y 9.374 las tienen autónomos como su única licencia.

3.8.1 Problemas con las VTC

Las licencias VCT (Vehículos Turismo con Conductor) son aquellas que hasta ahora estaban destinadas a chóferes o limusinas. Sin embargo, empresas como Uber o Cabify también se sirven de ellas. La popularidad de éstas ha hecho que el número de licencias concedidas se duplique en tan sólo 3 años; y su precio, tras meses de subida, se sitúa ahora mismo sobre los 35.000€.

La aparición de estas nuevas empresas ha puesto en guardia a los taxistas, que ven amenazados sus puestos de trabajo. Además de la pérdida de clientes que les origina, la devaluación de las licencias es un grave problema para muchos, puesto que es el plan de jubilación con el que cuentan. Finalmente, la percepción de que Uber y Cabify se están saltando las reglas también es motivo de enojo. Por otro lado, las empresas aseguran que el mercado es suficientemente grande para todos.

En España se trata de proteger el empleo de los taxistas, para lo que se han endurecido las condiciones para obtener una licencia VCT y se ha prohibido operar a Uber en diversas ciudades. En un origen, la idea era que hubiera 1 licencia de VCT por cada 30 de taxis, si bien la proporción actual se acerca más a 12.

3.8.2 Diferencias entre taxi y VTC

- Tipo de servicio:
 - Taxi: El cliente es el que debe buscar al taxista.
 - VCT: El vehículo va hacia el cliente, y conoce de antemano el itinerario. Debe empezar desde un punto concreto, y tiene prohibido buscar clientes. Éstos deben contactarle por teléfono, web o, lo más normal, app.

- Coste:
 - Taxi: El precio viene regulado por un ente público. En el caso de Barcelona, los precios dependen del momento del día (día o noche) y del día de la semana (entre semana o fin de semana y festivo). Además, se cobra un suplemento por ciertos destinos, como ferias o aeropuertos
 - VCT: El precio viene pactado entre la empresa y el cliente, al que se le ofrece de forma aproximada el coste de la carrera. Generalmente el precio fluctúa de acuerdo a la demanda de momento y la disponibilidad de conductores.

- Licencias:

Aparte de la diferencia de precio antes mencionada

- Taxi: Expedida por el ayuntamiento local
- VCT: Expedida por la comunidad autónoma

3.9 Medidas tomadas y soluciones estudiadas

El ayuntamiento de la ciudad ha elaborado distintas propuestas con el fin de remediar, o reducir, los problemas anteriormente mencionados. En varios casos se aborda uno de ellos en concreto, si bien repercuten también sobre otros problemas: para reducir la contaminación se trata de desmotivar el transporte privado, lo que a su vez reduce atascos, ruido y accidentes. Aquí se hablará, entonces, del principal objetivo de cada plan, con breves menciones a posibles efectos secundarios.

3.9.1 Plan de movilidad urbana

El Ayuntamiento de Barcelona redactó un plan de movilidad urbana para los años comprendidos entre 2013 y 2018 [7], con especial énfasis en la sostenibilidad. Los principales objetivos del plan se caracterizan por:

- Movilidad segura: reducir el número de fallecidos en la ciudad en un 30% y un 20% los heridos graves a causa de accidentes de tráfico.
- Movilidad sostenible: eje principal del plan, con el objetivo de cumplir con los niveles máximos de contaminación en toda la ciudad, especialmente de NO₂ y PM₁₀.
- Movilidad equitativa: garantizar que los ciudadanos pueda llegar a cualquier punto de la ciudad, sin necesidad del vehículo privado, a pie, en bicicleta o transporte público.
- Movilidad eficiente: evitar los desplazamientos inútiles y que suponen un coste económico, social o ambiental, dando especial importancia al transporte de mercancías.

Para cumplir con ello, se propone como principal fin reducir el número de vehículos en la ciudad en un 21%, a la vez que se aumenta el transporte público (+3,5%), los trayectos en bicicleta (+67%) y los desplazamientos a pie (+10%).

Aunque aún no ha concluido el periodo de actuación, ya se ha mencionado antes que el número de vehículos en la ciudad no ha dejado de crecer desde 2013.

3.9.2 Programa de medidas contra la contaminación atmosférica

Se trata de un programa de gobierno con el fin, como su nombre indica, de reducir la contaminación atmosférica media en la ciudad [8]a[8]. En un estudio preliminar se discute la necesidad de un plan urgente para rebajar los niveles de contaminación medios, que sobrepasan los límites indicados, más que episodios puntuales, puesto que se trata de casos muy aislados. Las principales medidas son:

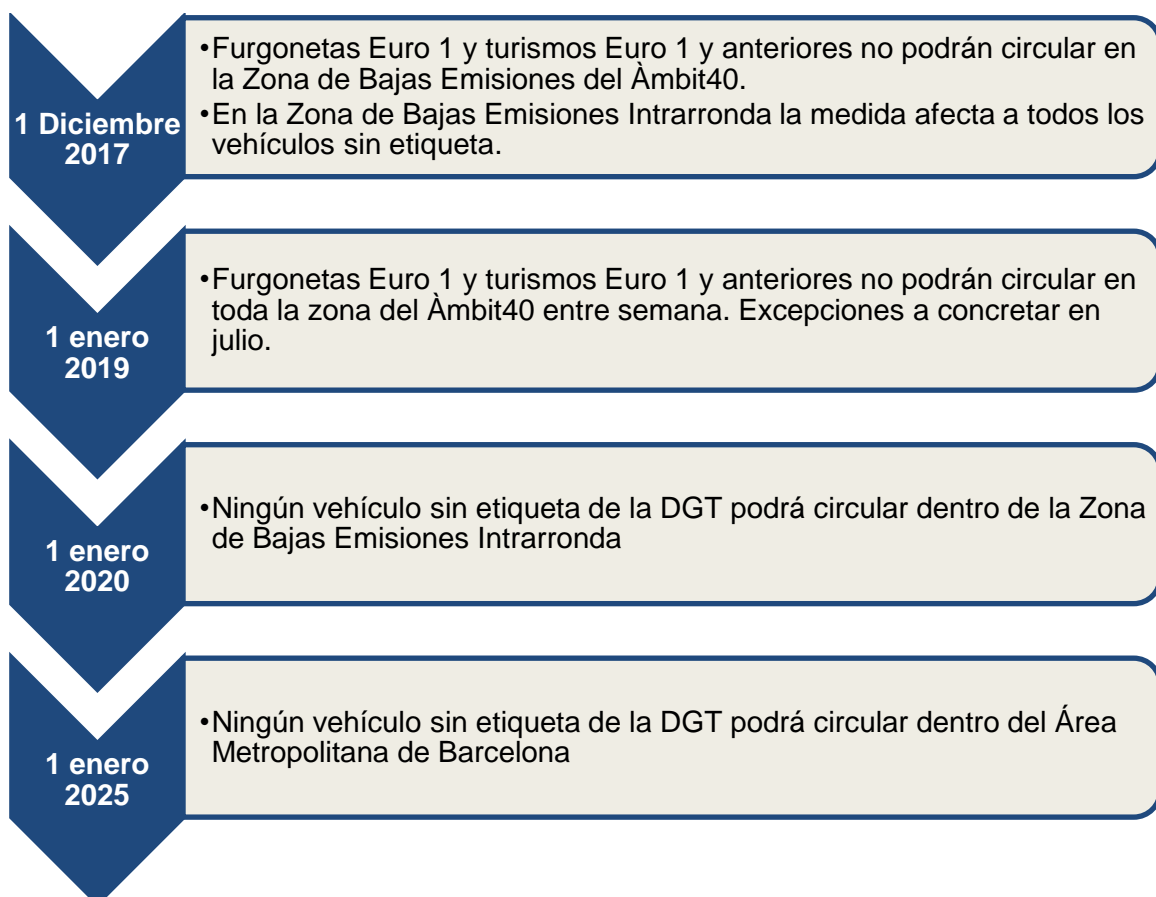
- Creación de “supermanzanas”, zonas donde la movilidad motorizada se vea reducida al mínimo y se le dé prioridad al peatón.
- Compleción de la Red Ortogonal de Autobús, puesta en marcha de la L10 sur, conexión de la red de tranvía, expansión del carril bici y del servicio Bicing.
- Tarjeta Verde Metropolitana, un plan Renove para propietarios de vehículos antiguos (Diésel anterior a 2006 o gasolina anterior a 1997). A cambio de deshacerse de ellos y convertirlos en chatarra, el ayuntamiento les otorgará tres años de transporte público gratuito. Solo válido mientras el propietario no haya adquirido un vehículo nuevo en los seis meses anteriores y se comprometa a no hacerlo en los seis siguientes.
- Regulación de las tarifas de aparcamiento de acuerdo a los niveles de contaminación, y en episodios en que ésta sea elevada, sólo podrán aparcar residentes.

3.9.3 Plan de acción: mejora y recuperación de la calidad acústica

Plan de acción del Ayuntamiento de Barcelona con otros municipios para reducir los ruidos excesivos y mejorar la calidad acústica de sus ciudadanos entre 2013 y 2018 [8]b[9]. Incluye numerosas medidas, tanto para disminuir el ruido causado como para reducir el impacto acústico sobre los ciudadanos. Se centra en mejorar los aislamientos acústicos de las viviendas, reducir el ruido ocasionado por los vehículos, promover el transporte en bicicleta y a pie y realizar un seguimiento y control de los niveles de ruido en puntos estratégicos de la ciudad.

3.9.4 Calendario de restricciones de vehículos altamente contaminantes

Con el fin de reducir la contaminación en la ciudad, se ha establecido un plan de acción [8] para ir eliminando progresivamente los vehículos altamente contaminantes.



Nota:

- Furgonetas Euro 1: Matriculadas antes de 1994.
- Turismos Euro 1: Matriculados antes de 1997.
- Vehículos sin etiqueta de la DGT: de gasolina anteriores a 200 y diésel anteriores a 2006.

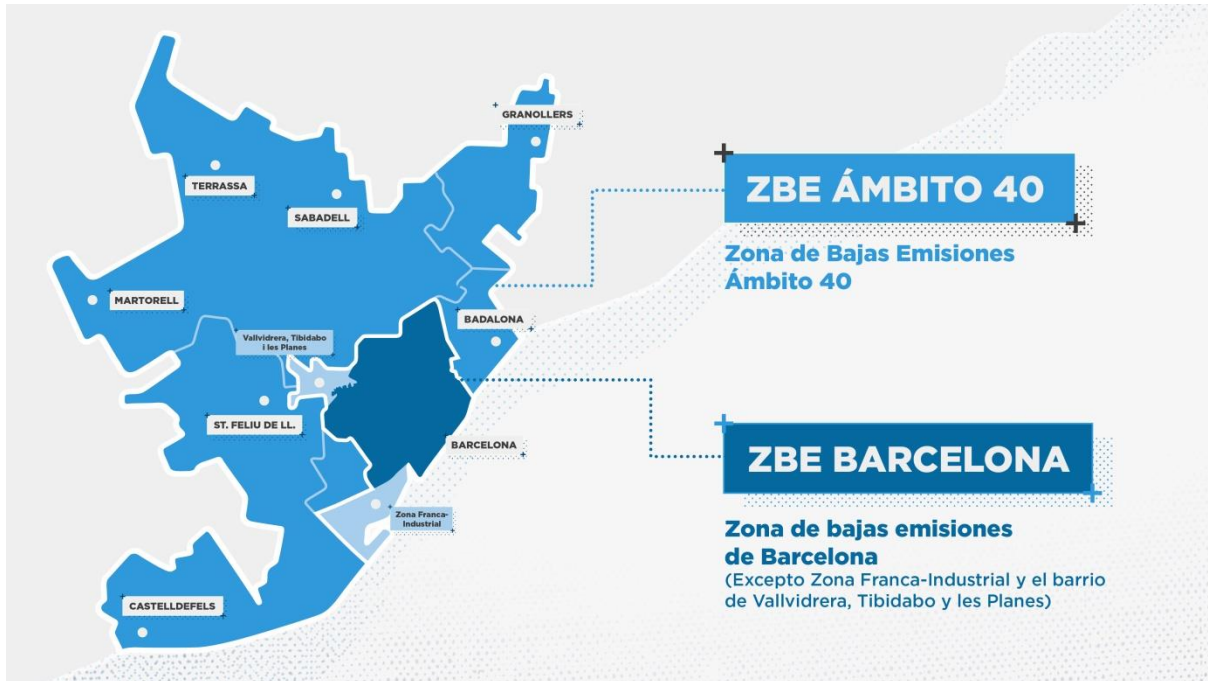


Figura 3.9.4 Área de acción en Barcelona y municipios de alrededor [8]b

3.10 Modalidades de transporte compartido

Los problemas causados por tráfico rodado antes mencionado no son exclusivos de la ciudad de Barcelona. De hecho, una gran cantidad de grandes urbes se enfrentan a ellos, y su origen está muy claro: el excesivo número de coches que circulan por sus calles. Es por eso que, al margen de las políticas que puedan desarrollar los ayuntamientos o diversos gobiernos, existen prácticas que permiten llegar al mismo objetivo, ya sea a nivel individual o mediante empresas que ven ahí una oportunidad de negocio. Una de las más conocidas, y con notables beneficios, es compartir coche. Hoy en día existen dos alternativas posibles: carpooling y carsharing.

3.10.1 Carpooling

El carpooling es una práctica mediante la cual dos o más personas comparten coche para realizar un trayecto común o con destinos muy próximos. Se acuerda un trayecto, se distribuyen los costes – combustible y, en caso de haber, peajes – y se planifica: puntos de recogida, maletas, etc. El objetivo es dividir los costes del viaje entre los ocupantes, para que éstos no recaigan solamente en el conductor. En principio no hay fines lucrativos, y de hecho en España está prohibido con multas de entre 401 y 600 euros, aunque esto no siempre es fácil de controlar. Generalmente se producen en dos situaciones:

- Viajes esporádicos de media-larga distancia. Suele utilizarse como sistema para ahorrar dinero en trayectos con poca cobertura o con precios de transporte elevados. Existen diversos portales en internet dedicados a este tipo de comercio colaborativo. En España se pueden encontrar empresas como Blablacar o Amovens, que ponen en contacto a personas con el mismo origen y destino.
- Trayectos diarios, como ir al trabajo o la universidad. Se suele dar entre personas conocidas, como compañeros de trabajo o vecinos. También se pueden establecer sistemas de rotación, de forma que, en vez de pagar al conductor por los costes, se turnen los usuarios para conducir con sus respectivos vehículos. De momento ningún portal ofrece este tipo de servicio en España.

Destacar que los portales antes mencionados no funcionan igual que las VCT, como sería Uber, por lo que en España no están prohibidos. El conductor del vehículo no pretende ganar dinero con el servicio, sólo cubrir gastos. Por otro lado, las páginas web funcionan como meros tablones de anuncios, facilitando el contacto entre particulares y promoviendo la seguridad, por lo que el servicio ofrecido no es el mismo que el de los taxis. Esto, sin embargo, no ha evitado que empresas como Blablacar hayan sido denunciadas por Fenebús – la patronal de autobuses – por competencia desleal.

3.10.1.1 UberPOOL

UberPOOL es una variante de los servicios que ofrece la empresa. Se trata también de un servicio de taxi bajo demanda, contratado a través de su app, pero aplica la práctica del carpooling. Los trayectos se comparten con otra gente, de forma que el servicio es más económico, y la aplicación busca automáticamente rutas compatibles. Debido a ello, no se puede reservar para más de dos personas, no se puede cambiar el trayecto una vez pedido el coche, y si se produce un retraso de más de dos minutos se cancela el viaje para el usuario en cuestión, además de aplicarle un cargo por dicha cancelación.

3.10.1.2 Ventajas

Mediante el carpooling se aumenta el número de personas por coche, o lo que es lo mismo, se disminuye el número de vehículos en nuestras vías. Como se puede suponer, esto implica numerosas ventajas aparte de la ya comentada repartición de gastos:

- Tráfico: Si disminuye la cantidad de coches circulando también disminuyen las congestiones derivadas del tráfico.

De hecho, en 2013 se realizó un experimento en Estados Unidos [10]: se analizaron todos los datos de 2011 de trayectos de los 13.586 taxis de la ciudad de Nueva York que empezaban o acababan en Manhattan, lo que suponía más de 1,5 millones de carreras. Los datos contenían, entre otras cosas, la ruta seguida, la hora de inicio y fin y, obviamente, el tiempo de trayecto. Con dicha información, y mediante análisis matemáticos, se estudió qué efectos tendría compartir coche, bajo las siguientes condiciones:

- No se podía desviar la ruta.
- Si alguien, en la simulación, tenía que esperar más de un minuto para coger un taxi ocupado cogería uno libre entonces.

Según los resultados obtenidos, el tráfico era un 40% más eficiente. Pero, además, también se descubrió que se podría aplicar a ciudades de menores dimensiones, puesto que el pico se alcanza a los 100.000 viajes diarios en taxi. Como referencia, los taxis en Madrid realizan 349.651 carreras diarias en días laborables, mientras que en sábados y festivos suelen hacer la mitad. Es, pues, totalmente factible reducir el tráfico considerablemente simplemente compartiendo trayectos.

- Contaminación: La reducción de coches implica menos emisiones de gases contaminantes, con la consecuente mejora para la salud y la calidad de vida. Si en una empresa de 1000 empleados un 5% de los trabajadores compartiera coche diariamente, con un trayecto medio de 20 km, se reducirían en 70 toneladas las emisiones de CO₂. En viajes largos, tomando como ejemplo de Madrid a Valencia, se emiten 15 kg de dióxido de carbono por persona en un coche de 4 personas, siendo el segundo transporte más respetuoso tras el tren (10 kg) y por delante del autobús (18 kg) y del avión (43 kg).

- **Aparcamiento:** Dado que los usuarios no necesitan utilizar el coche de forma independiente, se liberan plaza de aparcamiento. Se calcula que, en el mismo marco que en el apartado anterior (empresa de 1000 empleados, de los cuales 5% hacen carpool con distancia media de 20 km), se liberarían unas 30 plazas de coche.
- **Accidentes:** Finalmente, si se reducen los turismos en la vía también disminuyen las posibilidades de accidente. Además, se ha comprobado que en viajes de media y larga distancia compartir trayecto con otras personas es más seguro, puesto que se disminuye el estrés y se facilita estar más atento a la vía.

3.10.1.3 Inconvenientes

A pesar de las numerosas ventajas que ofrece hacer carpooling, no es una práctica realmente extendida en España. Si bien hubo un aumento con el inicio de la crisis, los inconvenientes que presenta hacen que mucha gente se reticente a probarlo. Entre los más comentados están los siguientes:

- **Flexibilidad:** La misma naturaleza del acuerdo para compartir coche crea dificultades para adaptarse a cambios que puedan surgir. Ya se trate de un viaje esporádico o de un trayecto diario, tanto si el conductor como los otros usuarios desean hacer cambios en la ruta o la hora se tiene que pactar con antelación.
- **Fiabilidad:** A pesar de que el servicio ofrecido cada vez es mayor, no todas las rutas deseadas están cubiertas ni existen horarios fijos. Además, al no depender de ninguna empresa ni organismo, éstas dependen exclusivamente de la conveniencia de los conductores.
- **Viajar con extranjeros:** Mucha gente no se encuentra cómoda depositando su confianza en extranjeros, y menos si se trata viajes largos en los que no se conoce a la persona que se encuentra al volante. Para tratar de tranquilizar a los usuarios, diversas empresas disponen de sistemas de puntuación, así como comentarios de otros usuarios. Además, los conductores pueden especificar las normas que se deben seguir en su coche: mascotas permitidas, si se puede fumar, incluso el tipo de música.

3.10.2 Carsharing

El carsharing nace de un concepto similar al carpooling, puesto que también trata de reducir la presencia de tráfico rodado y la dependencia de mucha gente del coche privado. Sin embargo, la aplicación es bastante diferente.

En este caso, múltiples individuos usan de forma individual una flota colectiva de vehículos, en muchos casos perteneciente a una empresa. Es similar a una empresa de alquiler, pero está especialmente recomendada para recorridos cortos. Se paga únicamente por lo que se consume, incluidos gasolina y seguro, y no hace falta firmar contrato. Se dispone de mayor flexibilidad, puesto que hay decenas de aparcamientos por toda la ciudad, y en la modalidad flexible se pueden recoger y entregar en cualquiera de ellos.

Dado que los coches están entre 3 y 6 veces más tiempo en circulación, la disponibilidad de aparcamientos en la ciudad también aumenta, pero no así el tráfico, pues los desplazamientos son los mismos. Se ha pensado no como sustituto del transporte público, sino como complemento. De hecho, en Barcelona los usuarios de carsharing disfrutaban de descuentos en los servicios de transporte público de la ciudad.

3.10.2.1 P2P carsharing

Existe otra variante del casharing, conocida como P2P (peer to peer, de igual a igual) carsharing. En ella, en vez de disponer de una flota, son los propietarios de vehículos los que los alquilan por cortos períodos de tiempo. De esta forma, no se requiere una larga flota perteneciente a una empresa y se racionaliza el uso del vehículo privado.

Al igual que en el caso anterior, los usuarios solamente pagan por el tiempo que lo usan y están cubiertos por un seguro subministrado por la misma empresa. Mediante sistemas de valoraciones, los tanto arrendatarios como propietarios pueden elegir a quién alquilar o no el coche. A cambio del servicio, la empresa se lleva una parte de los beneficios de los propietarios.

Está indicado para personas que tengan un vehículo al que le den poco uso y quieran amortizarlo. De hecho, hay varios usuarios que se han pasado al otro lado, vendiendo su coche para alquilar esporádicamente uno en caso necesario. Generalmente, por temas de conveniencia, se da entre vecinos del barrio. Como desventajas aparecen el miedo de dar

las llaves a un extraño y una posible falta de independencia, ya que la disponibilidad del coche ya no es absoluta.

4 IMPLEMENTACIÓN DEL COCHE AUTÓNOMO

4.1 Implantación

En este apartado se discutirá cómo se producirá la implementación del coche autónomo, es decir, qué nuevas formas de propiedad y uso se podrán observar con su llegada. Primero se va a tratar sobre el coche como medio de transporte para particulares, es decir, el uso que le da la mayoría de la gente. Se hablará después de los servicios de reparto que puedan prescindir del conductor, y finalmente se abordará el tema del transporte público.

4.1.1 Desplazamientos personales

Tal y como se ha ido comentando a lo largo de todo el trabajo, la implantación del coche autónomo no está nada clara. Primeramente, por la novedad que supone y el potencial revolucionario que puede tener en el mundo de los transportes, y segundo porque apenas hay referencias de innovaciones similares. Es por eso que expertos de diferentes disciplinas hacen conjeturas, y son diversas las marcas de fabricantes de vehículos que se plantean cambiar su estructura de negocio con la intención de adelantarse, aunque sólo el tiempo dirá cómo acaba

4.1.1.1 Posibles opciones

De entre todas las posibles implantaciones relacionadas con el transporte individual, no todas mutuamente exclusivas, destacan cuatro que se nombrarán a continuación:

4.1.1.1.1 Servicio de transporte bajo demanda

De forma similar al que proporcionan ahora mismo empresas como Uber o Lyft, son muchos los que afirman que éste será el devenir del coche autónomo. Así, los coches pertenecerían a grandes flotas, propiedades de empresas o de los mismos fabricantes, que los usuarios podrían alquilar por tiempo.

De entre las cuatro posibles opciones, esta es la más probable. Se estima que este sistema sea, como máximo, tan caro como tener un vehículo privado en cuanto a costes de transporte se refiere. Si se tiene en cuenta que algunos trayectos se pueden compartir, haciendo carpooling, el precio por kilómetro descendería sustancialmente, situándose en una décima parte de lo que cuesta un taxi y de la mitad a un tercio del precio de conducir un

vehículo privado. En el gráfico inferior se puede estudiar una comparativa de los precios previstos para 2020 por la empresa de gestión de propiedades ARK Invest.

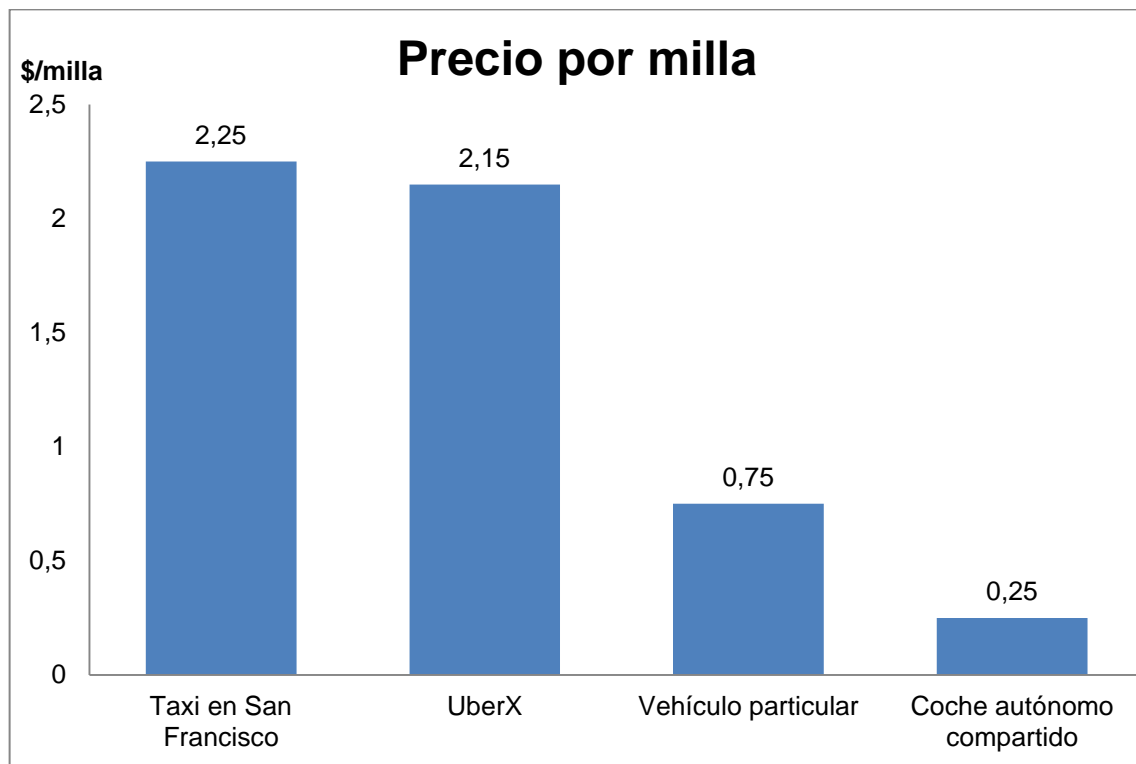


Figura 4.1.1.1.1: Comparativa de costes por milla en San Francisco, USA. www.ARK-invest.com

Nota: UberX es la variante más barata del servicio tradicional de Uber. La única diferencia es que los coches son de gama media, en vez de alta.

Este sistema presenta la ventaja de que el usuario se desentiende de todo: no debe hacer frente a costes de mantenimiento, del seguro o de una plaza de aparcamiento. Además, puede disponer de un vehículo en cualquier lugar mediante una aplicación móvil, con poco tiempo de espera, y adaptado a diversas situaciones. Por ejemplo, si se trata de un evento solemne, el cliente podría requerir un vehículo de más alta gama, mientras que si se trata de un trayecto diario podría compartir el coche para reducir gastos.

Como principal inconveniente se puede encontrar una posible falta de vehículos en horas punta, dado que los propietarios de las flotas no estarían interesados en tener un excesivo número de vehículos aparcados el resto de horas del día. Para evitar estas situaciones se ha propuesto establecer el sistema de tarifas que aplican algunas VTC, como Uber, que varía en función de la demanda. Así, si esta es alta, sube el precio del trayecto, disminuyendo la cantidad de gente que requeriría el servicio.

Algunas marcas, como Ford, Tesla o General Motors, ya han anunciado sus planes de establecer este sistema de negocio. El primero ha confirmado que, de momento, no se plantea vender coches autónomos, sino sólo alquilarlos como flotas ya sea a empresas o individuales; convirtiéndose con ello en una empresa de transporte. Tesla sí que venderá sus coches, pero los usuarios que quieran alquilar sus coches como taxis cuando no los usen tendrán que hacerlo a través de la propia Tesla, que se llevará una comisión. Finalmente, General Motors se ha aliado con Lyft, Toyota con Uber y BMW con Scoop Technologies, tres empresas especializadas en servicios de taxi bajo demanda, ante la previsión de un cambio en su estructura de mercado.

Si los fabricantes no quieren vender sus coches a particulares es por una sencilla razón. Temen que el vehículo autónomo implique un descenso en sus ventas, dado que parte de la población prescindiría de un vehículo privado. Así pues, dadas sus previsiones de ventas, prefieren pactar con sus futuros clientes, las grandes flotas de vehículos, o bien introducirse directamente en el negocio sin necesidad de intermediarios. Además, si sus compradores son flotas de vehículos con las que tienen acuerdos, les permitiría tener un mayor control sobre sus coches. Los modelos estarían diseñados para satisfacer esa necesidad de transporte bajo demanda, en vez de placer a conductores, con lo que nuevos diseños totalmente nuevos podrían aparecer.

Algunos incluso aventuran que se podrían pedir los turismos por anticipado, e incluso reservar un espacio en el maletero. De esta forma, se podría requerir al coche recoger una entrega, por ejemplo la compra semanal en el supermercado, antes de que se dirija a la oficina a recoger a su cliente. Obviamente, esto supone la colaboración de todos los negocios implicados.

4.1.1.1.1 Servicios actuales

De momento, y aunque la tecnología se encuentra aún en pruebas y por pulir, ya hay dos empresas que realizan pruebas con taxis autónomos, aunque con un ingeniero tras el volante. La primera es NuTonomy, nacida en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), y opera en Singapur. De momento cuenta con 6 taxis, unos Mitsubishi i-MieB o Renault Zoe – ambos eléctricos – aunque planea aumentar la flota a 12. La otra es la famosa Uber, que utiliza sus 16 Volvo XC90 por las calles de Pittsburgh, en Arizona, USA. También destacar que Tokio, anfitrión de los juegos olímpicos en 2020, espera tener una flota de taxis autónomos para entonces.

4.1.1.1.2 Coche compartido

En este caso, los vehículos serían propiedad de un colectivo que pertenecieran una misma región, como por ejemplo un barrio o una comunidad de vecinos. Así, sería una evolución del modelo de propiedad actual – un coche por conductor – dado que el conjunto de propietarios compartirían los gastos derivados de su uso, como el seguro, los de propiedad o los de mantenimiento.

Este modelo tiene mucho más sentido si el precio del servicio bajo demanda resulta muy caro, y es más robusto frente a cambios de tarifa en el sector. Además, resulta útil en comunidades rurales, donde el servicio de taxi o bien no llegue o bien lo haga de forma deficiente, con trayectos diarios más esporádicos. Este sistema también puede facilitar los trayectos más largos, que serían más costosos con un servicio de taxi, además de útil si se realizan viajes. Como principal ventaja, cabe añadir, es que probablemente es el sistema que implique una menor cantidad de vehículos en las calles, disminuyendo el tráfico, la contaminación y el ruido.

Por otro lado, como inconveniente cabe destacar la necesidad de ponerse de acuerdo en su uso y la repartición de gastos, que puede ser problemática en temas de seguro o mantenimiento. Para aliviar este problema podrían surgir administradores de flotas, que faciliten todos los trámites de las pequeñas flotas por regiones. Además, muy posiblemente la disponibilidad de los vehículos no sería tan alta como en el caso anterior, ya que hay un número fijo de vehículos por comunidad, por lo que podría darse el caso de que todos estuvieran ocupados por otros miembros en un momento dado. Finalmente, dado que los coches tendrían su base en la misma área, los tiempos de espera podrían ser superiores, por la necesidad del vehículo de desplazarse hasta el punto requerido.

4.1.1.1.3 Propiedad individual

Sería mantener el modelo actual. Dado el esperado elevado precio, no se espera que esta opción sea muy viable hasta que el precio de la tecnología necesaria descienda. Sin embargo, sí que hay ciertos colectivos que se podrían beneficiar de la propiedad de un vehículo, como zonas rurales y/o personas con necesidades especiales, como discapacitadas o de la tercera edad.

De momento, se espera que, debido al elevado precio que se supone que tendrán los vehículos autónomos, sólo un reducido número de personas opten por esta opción. Así pues, se tratará más de un tema de comodidad personal e imagen pública que de

implantación práctica del coche autónomo. También podría ser útil para personas que realicen con frecuencia viajes de media y larga distancia, con el fin de poder trabajar o descansar en dichos trayectos, pero aún está por ver si el coste de poseer un vehículo autónomo respecto a alquilar uno (o un renting) compensa.

El coste de poseer un vehículo autónomo respecto a usar uno de una flota, ya sea de una empresa o compartida, es la única desventaja a nivel de particular existente, pero muy posiblemente sea mayor que las ventajas que pueda ofrecer poseer uno de forma individual. Para tratar de mitigar el efecto del coste, se ha planteado que los propietarios alquilen el coche en horas de bajo uso. Sin embargo, no está claro que puedan competir con los precios ofrecidos por empresas dedicadas a este servicio, con flotas mucho más grandes.

Además, este sistema, a diferencia de los planteados anteriormente, no solucionaría de forma efectiva los problemas derivados del tráfico. El número de coches sería el mismo, o muy similar, y encima se incrementarían los desplazamientos de vehículos vacíos.

4.1.1.1.4 Posesión autónoma de los vehículos

Un punto que, de momento, no cuenta con gran apoyo, dado lo futurista de su argumento. En este caso, los coches no son propiedad de nadie, sino que se consideran entes propios que trabajan para el propio beneficio. Como tal, estarían programados para mejorar y se ofertarían y competirían entre ellos por los clientes. Con los beneficios obtenidos del dinero prestado podrían pagar a un programador que los mejorara – probando el código para asegurarse de que funcione – y comprar nuevos coches a los fabricantes para suplir la demanda. Entre las principales ventajas que ofrece este sistema están que se puede ajustar automáticamente a la demanda, puesto que tener más coches aparcados no supone un perjuicio para nadie, y la transparencia del sistema.

4.1.1.1.5 Resumen

De entre las cuatro posibles opciones, parece que al principio aparecerán tanto coches de propiedad privada, de manos de innovadores con alto poder adquisitivo; como flotas propiedad de empresas dedicadas, ya sean fabricantes, actuales VTC como Uber o Lyft o entes públicos. Así pues, durante los primeros años la población media podrá acceder al coche autónomo como un servicio similar al del taxi. A medida que el precio de la tecnología descienda, y dependiendo del éxito de que tenga el coche sin conductor y si los fabricantes deciden vender a particulares; podrá aparecer la segunda opción – flotas compartidas por

propietarios –, o aumentar el vehículo de propiedad privada, aunque esta última es poco probable si la gente se acostumbra a prescindir del coche particular.

4.1.2 Reparto autónomo

El coche autónomo no sólo puede ser beneficioso para el ciudadano medio en sus trayectos habituales, sino que las empresas de transporte urbano, principalmente de paquetería, también pueden encontrar en él una gran oportunidad. Además, es probable que las éstas se adelanten a las de servicios de taxi, debido a la desconfianza que esta nueva tecnología inspira en ciertos sectores de la población. Así pues, en este apartado se estudiará cómo se pueden beneficiar dichas empresas del vehículo sin conductor

4.1.2.1 La última milla

Antes que nada, para entender el problema y como pueden ayudar los vehículos sin conductor a solucionarlo, se debe explicar en concepto de la última milla. Nacido en el ámbito de las telecomunicaciones y adaptado al transporte y cadenas de distribución, la última milla designa el recorrido que se debe realizar desde el centro de distribución hasta el destino final. Mientras el transporte por carretera o ferroviario es sumamente eficiente en cuanto a coste por kilómetro se refiere, hacer llegar los bienes al consumidor final suele ser muy caro, llegando a representar entre el 30y el 50% del coste de transporte total.

Así pues, aunque se podría hablar de automatizar todo el sistema de transporte, aquí se tratará concretamente el transporte a pequeña escala en ámbitos urbanos, que es el que puede ayudar a mejorar el vehículo autónomo. Además, dada la creciente popularidad del comercio electrónico y de los negocios de consumidor a consumidor (como eBay), este tipo de transporte ha aumentado considerablemente, y hay muchas probabilidades de que siga en esta línea.

4.1.2.2 El servicio

Disponer de un sistema de reparto autónomo tiene numerosas ventajas, principalmente debido a la reducción de costes. Dado que el conductor es prescindible, el coste horario disminuye considerablemente, además de los derivados por accidentes, y la posibilidad de error humano. Por otro lado, la flexibilidad del sistema aumenta, ya que los vehículos pueden circular en cualquier momento del día, todos los días del año. Esto, por ejemplo, podría servir para planificar mejor los horarios de entrega, de forma que fueran óptimos ya

sea teniendo en cuenta el coste o la satisfacción del cliente, además de repartir en días como domingos y festivos.

La mayoría de predicciones para el transporte urbano automatizado apuntan por un nuevo tipo de vehículos de reparto especialmente diseñados para esta tarea. Así, ante la carencia de conductor, el vehículo dispondría de varias casillas con clave de seguridad donde colocar la carga. El receptor, por medio de una aplicación, correo o mensaje de texto, recibe la clave necesaria para abrir y la hora y punto de recogida. De hecho, Google ya patentó en febrero de 2016 un vehículo de características similares. En el anexo 10.1.4 se puede apreciar una representación gráfica de un vehículo similar.

4.1.2.3 Entrega al consumidor

A pesar de suponer un inconveniente respecto a la entrega en el domicilio o la oficina, que es la opción más común hoy en día, una encuesta realizada a 4.700 personas de Alemania, China y Estados Unidos [11] revela que la población está dispuesta a cambiar. Así, según los resultados de dicha encuesta, un 70% de la gente que compra por internet escoge siempre la opción más barata de envío; y la mayoría de los que respondieron estaría dispuesta a pagar hasta 3 euros para recibir el paquete en casa.

Si la reducción de precio obtenida es mayor, y todo parece indicar que así será, la mayoría estaría dispuesta a cambiar sus preferencias. De hecho, un 40% afirma que utilizaría el sistema de las casillas, y de entre los jóvenes de 18 a 34 años, el nivel de aceptación es superior al 50%. Destacar que las entregas no serían en puntos de reparto fijos, por lo que los vehículos autónomos podrían estacionarse en zonas muy próximas a los domicilios, reduciendo el inconveniente de ir a buscar el paquete.

4.1.2.4 Entrega a empresas

Cuando el cliente es una empresa, el sistema de transporte automatizado presentado es poco probable que funcione. Primeramente, porque la idea de las casillas, aunque cómoda para individuos que encargan uno o dos paquetes, puede resultar tediosa para empresas. Si reciben más de diez paquetes, significa abrir otras tantas casillas, que es una tarea lenta.

Por otro lado, las empresas suelen ser las más beneficiadas de la figura del repartidor, que muchas veces, además de descargar las entregas, también son requeridos para entrarlas y ordenarlas en el almacén. Finalmente, aunque las compras por internet suelen ser de unas

medidas razonables, los pedidos de las empresas pueden tener formas y tamaños complejos, que requieran vehículos mejor adaptados.

4.1.3 Transporte público

Aunque hasta ahora se ha hablado prácticamente sólo del coche autónomo, pues ése es el objetivo del proyecto, también es cierto que el transporte público de las ciudades es susceptible de ser automatizado. En el caso de las vías ferroviarias ya es un hecho: el 25% de la línea de metro de Barcelona funciona sin conductor. Es por eso que aquí se tratará el caso del transporte rodado, como autobuses o similares, dadas las similitudes que éstos presentan con los coches. El hecho de disponer de carriles especiales y rutas preestablecidas, además, puede ayudar considerablemente a que su implantación sea más sencilla.

Hay una gran cantidad de ciudades de diversos países – Reino Unido, Países Bajos, Suecia, Estados Unidos o Singapur – que están probando una especie de vainas para el transporte urbano. Aunque se trata de modelos diferentes, todas comparten características similares: son eléctricas, con una autonomía de entre 8 y 12 horas; sientan entre 8 y 15 personas; viajan a bajas velocidades (25 km/h en pruebas y 40 km/h como máximo), y las pruebas se realizan en tráfico real. En Las Vegas, donde se piensa instalar este sistema de vainas próximamente, se ha estimado que el coste operativo es de unos 10.000 euros mensuales, gran parte de los cuales se podrían cubrir con publicidad en el interior.

Debido al reducido tamaño que presentan, se estima que podrían coexistir con el resto de medios de transporte actuales. De hecho, muchas están pensadas para cubrir la primera y la última milla, es decir, acercar a la gente a las estaciones de metro, o éstas al centro. De momento, ya se puede encontrar una operativa, circulando en el aeropuerto de Heathrow, en Londres, y la respuesta es muy positiva.

Así pues, antes que ver autobuses totalmente autónomos se espera observar un intermedio entre éstos y los coches, con recorridos de corta distancia, que sirvan como puente entre centros de interés y estaciones de otros servicios público. Se deberían integrar en la red de transporte urbano, y la falta de conductor haría que los costes operativos fueran reducidos.

4.2 Implantación en Barcelona

Como se ha comentado en la introducción, el objetivo de este proyecto es establecer los cambios que serían necesarios introducir en Barcelona con el fin de facilitar la implantación masiva del coche autónomo. Dado que éstos aparecerán en un futuro cercano, es imperativo que la ciudad se prepare cuanto antes para recibirlos.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, se espera que los vehículos autónomos lleguen de la mano de sus fabricantes y/o empresas de VTC. Así pues, se descarta inicialmente una flota municipal con la que suplir a los taxis. El elevado precio y lo incipiente de la tecnología hacen que no convenga a una entidad pública arriesgarse tanto, dejando a empresas privadas las primeras evaluaciones.

4.2.1 Infraestructuras físicas

Como las primeras flotas no serán públicas, se espera que el ayuntamiento no necesite ningún tipo de infraestructura física adicional, puesto que el aparcamiento y estaciones de carga o para repostar correrían a cargo de empresas privadas. En caso de que se adaptaran las vainas autónomas se necesitaría espacio para alojarlas y cargarlas, pero nada más. De hecho, a medida que se popularice el coche autónomo, el gobierno municipal podría ir aprovechando los espacios de aparcamiento que se calcula que se liberarán para alojar sus nuevos vehículos, o cederlos o alquilarlos a las empresas gestoras de coches autónomos para facilitar su implantación.

4.2.2 Infraestructuras virtuales

Que las infraestructuras físicas no sean clave no quiere decir que la implantación no se pueda mejorar por otras vías. Sin tener en cuenta la normativa necesaria, que se discutirá en el apartado dedicado a tal tema, el ayuntamiento puede tomar medidas que faciliten el trabajo a los fabricantes o que den beneficios a los usuarios de coches autónomos.

Mediante la inversión en la tecnología necesaria para conectar entre sí vehículos (V2V, del inglés Vehicle to Vehicle) y entre éstos y la ciudad (V2I, del inglés Vehicle to Infrastructure), la ciudad tendría voz y voto en la forma en que ésta se implementa. Podría asegurarse de que los fabricantes desarrollan sistemas que garantizan el acceso a todos sus ciudadanos, y que el software necesario se realiza de forma precisa de acuerdo a las necesidades de la

ciudad. También sería beneficioso para los fabricantes, pues éstos tendrían una visión interna de los requerimientos de la ciudad, pudiendo crear flotas con el software optimizado a las características de cada ciudad, en este caso, Barcelona.

La ciudad condal tendría información de primera mano sobre el uso del vehículo, incidencias en las vías e incluso el estado en que éstas se encuentran, para realizar las labores de mantenimiento correspondientes y gestionar el tráfico en tiempo real de una forma más eficiente. Si los coches están conectados a la ciudad se podría ordenar a éstos tomar las rutas óptimas y adaptar los semáforos y demás señales viales de acuerdo a la situación en cada momento. Además, con todos los datos recogidos se podrían realizar políticas de movilidad con objetivos más precisos, así como identificar oportunidades de mejora mucho más rápido.

Para tratar tal cantidad de datos Barcelona podría disponer de sus propios ordenadores y servidores, con la inversión que ello supone, o acudir a los recursos de las universidades de la ciudad. Así, éstas ganan acceso a nuevas tecnologías que les permitan estudiar cómo va a evolucionar el coche autónomo, mientras que la ciudad se beneficia porque se ahorran costes y se podrían formar a expertos en la materia que más tarde mejorarían el sistema.

4.2.3 Medidas regulatorias

Los datos tendrían que ser obtenidos de forma que se garantizara la privacidad y el anonimato de los usuarios, a la vez que se pudiera asegurar que éstos no fueran víctima de ataques y robos. Participando de forma conjunta con los fabricantes y desarrolladores se podría garantizar que éstos no hacen un uso indebido de toda la información recabada.

Aunque las flotas de vehículos pertenezcan a grandes empresas, desde el gobierno de la ciudad se deben impulsar políticas que controlen los precios. Así pues, sistemas que controlen las tarifas de acuerdo a la demanda, contaminación, aparcamiento disponible e incluso renta se podrían implementar, a la vez que garantizarían el acceso al transporte a todos los ciudadanos.

Como sistema de pago aparecen diversas opciones. Algunas ciudades ya están implementando aplicaciones móviles que funcionan con todos los medios de transporte, permiten comparar el tiempo que requieren así como las diversas combinaciones y emisiones de gases contaminantes generadas; y mediante las cuales se pueden contratar

suscripciones mensuales a los servicios ofrecidos. Una tarjeta única de transporte, útil en la red actual y la de vehículos autónomos, podría funcionar también como complemento a las aplicaciones de pago de las flotas privadas. En vez de tener un saldo precargado, como un billete de bus, tendría un chip electrónico de forma que se pudiera recargar con el saldo y abonos deseados.

4.3 Impacto

Este apartado, de suma relevancia para el proyecto, analiza el impacto que tendría la implantación del coche autónomo. Se inicia con una breve descripción para acentuar las dimensiones del impacto, se menciona a una entidad que ha permitido estudiar dicho impacto de primera mano, y finalmente se explican los diversos ámbitos sobre los que el coche autónomo tendría efecto.

4.3.1 Dimensiones del impacto

A lo largo de este apartado se hablará del posible impacto que puede tener el coche autónomo en muy diversos aspectos. Dado que aún no existe ningún vehículo comercial de este tipo, todo lo aquí planteado son previsiones. Por otro lado, son pocos los estudios que se han llevado a cabo para valorar su impacto de forma apropiada, muchos de ellos limitándose a citar las ventajas e inconvenientes, pero no su relación con las ciudades, la economía o la sociedad.

Desde su producción en masa con el ya mítico Ford Model T en 1908, los coches han evolucionado muy lentamente. Para ganar perspectiva, durante los siguientes 30 años apenas se introdujeron cambios en los automóviles. Después, en las décadas de los 50 y 60, se mejoraron los motores para hacerlos más potentes y eficientes, con sistemas electrónicos que los regularan.

Los años 70 estuvieron marcados por la aparición de los airbags y la subida del precio del petróleo, que obligó a los fabricantes a crear motores que consumieran menos. Durante los años siguientes, y hasta ahora, mejorar la eficiencia – marcada por la aparición de vehículos híbridos y eléctricos –, el confort y la seguridad de los ocupantes han sido clave, con sistemas como el ABS o controles de estabilidad. Además, muy recientemente, se ha podido apreciar un énfasis en la tecnología complementaria, con el fin de facilitar la conducción.

A grandes rasgos, los coches han sido muy similares durante los últimos 50 años. El motor de combustión, volante y pedales siguen siendo las características principales de un coche. Comparativamente, el vehículo autónomo supone un avance gigantesco en cuanto a los automóviles se refiere, e integrado dentro de la revolución del internet de las cosas, se espera que afecte muy diversos campos. Cambiar la morfología de las ciudades, el modelo de negocio de empresas que han hecho lo mismo durante más de un siglo o revolucionar el sistema de transportes de todo el mundo son algunas de las posibilidades que ofrece, y que a continuación se detallarán.

4.3.2 Mcity

Mcity es un acuerdo entre empresas privadas, el gobierno americano y la comunidad educativa llevado a cabo por la Universidad de Michigan (www.mcity.com). Su objetivo es fundar un ecosistema para estudiar el mundo de los coches autónomos y conectados, ya sea para el transporte de personas como el de mercancías. Es el primer estudio en vivo sobre el impacto que podrían tener los coches autónomos en una ciudad. El proyecto es interdisciplinario, pues comprende el ámbito legal, político, social, regulatorio, económico, de planificación urbana o del mundo de los negocios.

Para ello han creado una zona de pruebas, llamada Ann Arbor, en Michigan, de 13 hectáreas. El fin es crear un ecosistema con la complejidad de un entorno urbano, para lo que cuentan con semáforos, intersecciones, carriles bici, pasos de peatones y túneles, entre otros. El trazado también incluye maniqués robotizados para imitar a las personas y falsos edificios, con el fin de hacerlo todo lo más realista posible.

Si se menciona aquí es porque su contribución a este apartado ha sido notable, más aún cuando aporta resultados que nadie antes había podido observar nunca.

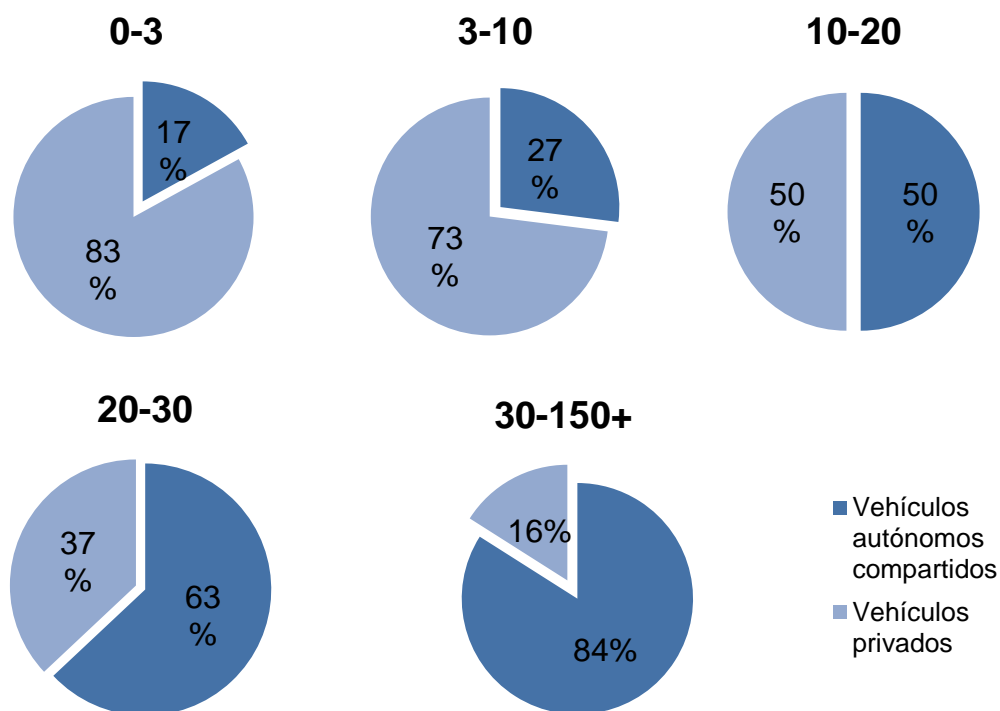
4.3.3 Impacto sobre las ciudades

A lo largo de este apartado se hablará sobre el impacto que la asimilación generalizada del coche autónomo puede tener sobre las ciudades, con el fin de observar qué consecuencias puede tener sobre Barcelona la implantación del vehículo autónomo.

4.3.3.1 Reducción del número de vehículos

La disminución del tráfico rodado en la ciudad tendrá numerosas repercusiones que abarcarán diversos ámbitos. Por otro lado, hay expertos que afirman que facilitar los desplazamientos de personas hará que se viaje más recorriendo mayores distancias y contrarrestando algunos de los beneficios que pudiera producir el coche autónomo. Estos perjuicios, sin embargo, sólo serían realmente importantes si se mantiene el modelo de vehículo privado, escenario poco probable.

Hay estudios que apuntan que, de compartir vehículos autónomos, se necesitarían tan sólo una quinta parte de los coches actuales. Otro estudio más reciente caracteriza la potencial reducción de vehículos en función de la densidad de viviendas americanas. Para ello, realizó mediciones en 3 ciudades diferentes: Nueva York (muy alta densidad, sistema de transporte eficiente, relativamente pocos coches), Los Ángeles (densidad media, transporte en vías de expansión, gran cantidad de coches) y Dallas (densidad baja, sistema de transporte poco desarrollado, gran cantidad de coches). En este caso, se tomarán los resultados obtenidos para Nueva York, por ser, de entre las 3, a la que más se parece Barcelona. El título de cada gráfico es la densidad de viviendas por acre en una zona de la ciudad.



Figuras 4.3.3.1.a, b, c d y e: Porcentaje de vehículos autónomos compartidos y privados en Nueva York, dividido según viviendas por acre [12]

Como se puede observar, el impacto que tiene el coche autónomo sobre los vehículos particulares varía drásticamente en función de la cuántas viviendas haya por acre. En el caso de Barcelona, de acuerdo a los datos proporcionados por el Institut d'Estadística de la Generalitat [13], y tras la conversión adecuada, hay de media 27,03 vivienda por acre. Por lo tanto, se espera una vez se haya implantado con éxito el coche autónomo el número de coches privados sea de un 37% del total de la ciudad.

4.3.3.2 Tráfico y congestiones

Los atascos fantasma son aquellos que se producen sin ninguna razón de peso aparente que los justifique, y vienen causados por la dificultad de los conductores para mantener una velocidad constante que evite tener que acelerar y frenar. Dado que cada coche lo hace a destiempo, acaban apareciendo zonas que van más rápido para después detenerse

Dado que los coches autónomos son capaces de controlar su velocidad con mayor precisión y determinar que se encuentran en un atasco, limitan su velocidad para que ésta sea constante, evitando así que los coches que van detrás también tengan que frenar. En esta línea, un estudio de la universidad de Illinois [14] determinó que, de haber un solo coche autónomo en un atasco de este tipo, se conseguiría que un 50% de los coches de la vía mantuvieran una velocidad constante, reduciendo el número de frenadas necesarias, y consiguiendo un ahorro del 40% de combustible.

Al conectar todos los vehículos entre ellos y a la ciudad se podrán gestionar el tráfico de forma óptima y precisa en tiempo real. Los coches no establecerán las rutas pensando solamente en el usuario, sino que podrán hacerlo de forma que sea lo más eficiente posible para la ciudad en su conjunto.

Algunas voces críticas afirman que el coche autónomo, al poder circular sin conductor, podría aumentar el número de vehículos circulando (que no el número de coches en una ciudad), por lo que el tráfico sería el mismo, o incluso peor. Estas consideraciones sólo son válidas si el número de coches con baja ocupación en circulación es elevado, situación poco plausible si se implanta el coche autónomo como modelo de coche compartido.

4.3.3.3 Contaminación

Primeramente, porque los coches autónomos son en su mayoría híbridos o eléctricos. Esto se debe a la necesidad de alimentar al ordenador de a bordo, que es el que controla al coche. La batería de un coche no tiene suficiente capacidad, por lo que muchos fabricantes

deciden hacer sus prototipos sobre la base de un coche híbrido, que tiene un motor eléctrico y baterías con que alimentar al ordenador. Además, el motivo de la lenta aceptación de los coches eléctricos es la poca capacidad de sus baterías. Para flotas exclusivamente urbanas, éstas serían suficientes, por lo que podría ver incrementada sustancialmente la cantidad de coches no contaminantes.

Además, los coches autónomos pueden establecer rutas óptimas y circular a velocidades donde el consumo de combustible sea lo menor posible, reduciendo su impacto sobre el medio ambiente. Si, como se ha comentado anteriormente, se consiguen conectar entre ellos e integrar en el internet de las cosas, se podrían planificar los trayectos de toda la ciudad para que fueran lo menos contaminantes posibles, siendo lo más eficientes no a nivel individual, sino colectivo. Se estima que, mediante la adopción de los coches sin conductor, se emitirían, a nivel internacional, 300 millones de toneladas anuales menos de dióxido de carbono.

Como en el caso anterior, hay quien aduce que facilitar los trayectos hará que la gente se desplace más, aumentando así las emisiones. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que al compartir trayectos también se reducen el número de viajes necesarios. Así pues, no se debe calcular por el número de desplazamientos de personas, sino por los kilómetros recorridos por los vehículos.

4.3.3.4 Accidentes

Las principales causas de los accidentes en España son, en este orden, el exceso de velocidad, el consumo de alcohol, el cansancio, la deshidratación – que puede causar dolores de cabeza –, la falta de experiencia y las distracciones. Ninguna de ellas puede aparecer en un coche sin conductor, por lo que los accidentes se reducirían drásticamente. Según un estudio elaborado por Morgan Stanley, la cifra de siniestros sería solamente un 90% inferior a la actual.

4.3.3.5 Aparcamiento

Desde el punto de vista de un propietario individual, el coche autónomo puede aparcar solo. Así, su dueño puede bajarse del vehículo donde la plazca y enviar al coche a estacionar o, en caso de no encontrar plaza, circular hasta que sea llamado de nuevo.

Por otro lado, los coches de alquiler de las flotas podrán ser llamados desde cualquier lugar y en cualquier momento, y dejarlos también donde convenga. Al acabar, pueden tanto

retornar a una base como ir a buscar a un nuevo cliente. De cualquiera de las dos maneras se aumenta el número de tiempo que el coche está en circulación, y por ende, se dejan más plazas libres.

Además, dado que se necesitaría menos coches en la ciudad, la demanda de aparcamientos disminuiría, con lo que el espacio dedicado sería menor. Esto conllevaría importantes cambios en la morfología urbana de las ciudades. Se calcula que un tercio del espacio total de las ciudades está dedicado a los aparcamientos. Los parkings subterráneos se podrían convertir en espacios de almacenamiento, mientras que los abiertos se podrían transformar en viviendas o zonas verdes. Se estima que con estas medidas se podría reducir el coste de edificación en un 20%, mientras que la mayor disponibilidad de viviendas disminuiría el coste de las ya existentes – Barcelona era, en septiembre de 2016, la tercera ciudad de España con las viviendas mayor precio por vivienda –.

4.3.3.6 Morfología urbana

Aparte de la ya mencionada disminución de superficie dedicada a aparcar, el coche autónomo podría cambiar otros aspectos de la morfología de las ciudades. Por ejemplo, se adaptarían las aceras para facilitar que las personas accedieran a los vehículos en cualquier lugar, es decir, recoger y dejar pasajeros.

Los modelos de implantación con mayores propiedades de éxito, es decir, los que no prevén al coche autónomo como propiedad individual, implicarían una mayor vida de barrio. Al no tener coche propio los usuarios serían más conscientes del gasto que les supone cada trayecto y, por tanto, desarrollarían sus actividades en las proximidades a su domicilio, toda vez que aumentan los desplazamientos a pie y en bicicleta.

Además, como se ha comentado anteriormente, la facilidad de desplazamiento y el aumento de productividad en los viajes pueden inducir a parte de la población a considerar vivir fuera de los núcleos urbanos más densamente poblados, liberando espacio en las ciudades.

4.3.3.7 Cambio en la producción

Los fabricantes automotrices están acostumbrados a fabricar muchos modelos en producciones masivas para satisfacer al conductor. Si desaparece esta figura, las empresas del sector tendrán que obrar con cautela con el fin de preservar su negocio. Se espera virar hacia un sistema con menor cantidad de modelos y producciones más limitadas, y es por ello que la mayoría de fabricantes o bien esperan entrar en el mundo de las VTC o bien se

alían con ellas, para mantener una fuente de ingresos constante que no dependa de las ventas.

Si no se adaptan de forma eficiente, algunos expertos auguran que precisamente las empresas más grandes, como GM, podrían quebrar cerca de 2030, al no poder hacer frente a una rápida disminución en sus ventas. Además, si ellas caen, se llevarían consigo a empresas auxiliares, como aseguradoras, financieras, de aparcamiento o fabricantes de accesorios.

4.3.3.8 Pérdida de empleos

La llegada del coche autónomo implicará una pérdida de empleos considerable. Taxistas, conductores de autobús y repartidores pueden ver cómo las máquinas toman sus puestos de trabajo. Dado que la implantación no será inmediata, sino más bien gradual y por sectores, se espera poder ir recolocando a todos los afectados con el paso del tiempo. Una de las primeras soluciones consiste en ofrecerles puestos de trabajo como gestores de flotas. Ya tendrían cierta experiencia en el sector, y tras una formación adecuada podrían desempeñar ese papel sin problemas.

4.3.3.9 Economía

El coche autónomo tendrá un impacto económico considerable. Además de repercutir directamente en los fabricantes, el menor número de accidentes hará que el precio de los seguros descienda, o que las propias marcas se conviertan en aseguradoras – como ha pensado hacer Tesla –. Empresas enfocadas a los vehículos particulares, como talleres mecánicos y de mantenimiento, tendrán que cambiar para poder servir a grandes flotas. Además, el reducido número de accidentes provocará que los fabricantes de piezas de repuesto también se vean sumamente perjudicados, mientras que la alta utilización de los coches – estarán más tiempo en circulación – hará que las tareas de mantenimiento sean más frecuentes

En el entorno urbano, la disminución en el número de accidentes e infracciones hará que no se tengan que dedicar tantos recursos a sanidad o las fuerzas del orden; pero a la vez producirá una reducción de las multas de tráfico (en Barcelona, 2015, se recaudaron 59,8 millones de euros). Como habrá menos coches y estarán mucho más tiempo en circulación, la recaudación de los parquímetros, que fuera de 39 millones de euros en 2016, se verá sustancialmente reducida. Para tratar de paliar este impacto económico – entre multas y

parquímetros representan un 3,65% de los presupuestos del ayuntamiento – se deberán buscar fuentes de financiación alternativas

4.3.3.10 Productividad

Dado que ya no se necesitarán conductores, se podrá aprovechar el tiempo de los trayectos para múltiples cosas, entre ellas trabajar. Las personas que se pasen gran parte del día en el coche podrán ver como su tiempo disponible aumenta, y como su productividad lo hace también. Además, como ya se ha comentado en el primer punto, también disminuiría el tráfico, reduciendo los tiempos de los desplazamientos.

4.3.3.11 Coste

Como se ha demostrado anteriormente, los coches sin conductor disminuirán los costes de los viajes, especialmente aquellos que ahora mismo tengan menos cobertura por parte de los servicios de transporte públicos, y eliminarán la dependencia del vehículo privado. Además, incrementará la accesibilidad para gran parte de personas y áreas.

Por otro lado, la aplicación de los vehículos autónomos en el reparto de mercancías hará que disminuyan los costes de distribución, y, en consecuencia, el precio de gran variedad de productos.

4.3.3.12 Diseño de los vehículos

Los coches autónomos estarán diseñados para menos situaciones que los coches actuales. Dado que el tráfico urbano serán el mayoritario, y la estética dejará de ser un factor de compra – pues los nuevos clientes serán las grandes flotas, no particulares – dejarán de verse, por ejemplo, todoterrenos y SUV por las ciudades. De la misma forma, los modelos que vayan apareciendo estarán adaptados a diferentes entornos, con menor versatilidad, pero más eficientes.

Los coches estarán enfocados al entretenimiento y confort de los usuarios, con opciones para escoger la temperatura, la música, y muy posiblemente equipados con pantallas y demás equipos de entretenimiento. Al igual que ahora, existirán gamas, con modelos especializados en transporte compartido y trayectos diarios, otros más enfocados al lujo para situaciones especiales y otros con mayores maleteros para las compras y maletas.

La reducción de accidentes también puede cambiar la forma en que se conciben los automóviles. Una vez se hayan probado, y su seguridad sea garantizada, los coches podrían volverse menos rígidos y más ligeros.

Aunque la seguridad vial pueda no ser tan necesaria, la alta dependencia tecnológica y la necesidad de estar conectados de los vehículos autónomos los hace más vulnerables a los ciberataques. Éstos no sólo se podrían usar para tomar el control del coche, que ya de por sí es sumamente alarmante, sino para recabar datos sobre de forma ilegítima, como rutas, usuarios, etc.

Además, no sólo deben estar protegidos frente a los ataques virtuales. Diversos ensayos ya han demostrado que, con ingenio y sin necesidad de ordenadores, se puede conseguir confundir a los sensores del coche, haciéndole creer que hay objetos donde no los hay, y viceversa. Esto podría llevar al vehículo a realizar maniobras extrañas o detenerse completamente. A pesar de ello, cabe destacar que todos los fabricantes implementan medidas redundantes, ante la posibilidad de que algún sensor pueda fallar.

4.3.3.13 Conectividad

Al ser un coche conectado y que disponga de un ordenador a bordo será fácil actualizarlo. Los fabricantes podrán, sin necesidad de que el vehículo pase por el garaje, enviarle las últimas actualizaciones de software con el fin de mejorar sus prestaciones o cumplir con recientes normativas. Además, debido a ello, no se producirán infracciones de tráfico.

4.4 Costes

En este apartado se hablará de los costes que supondría para Barcelona que el coche autónomo se implantara con éxito. Como se ha ido repitiendo a lo largo del trabajo, los números que se presenten se deben tomar con carácter orientativo, y están sujetos cambiar a medida que se conozca más sobre la materia. Para calcular los costes, se tendrá en cuenta el impacto que causarían los automóviles autónomos, y como éste repercutiría económicamente sobre la ciudad.

4.4.1 Reducción de los accidentes

Un 90% menos de accidentes significaría una reducción de gastos considerable en sanidad. Si se tiene en cuenta los datos de accidentes en Barcelona y el coste que supone para el sistema sanitario (apartado 4.7.4), se puede determinar la siguiente tabla:

Gravedad de las víctimas	Número actual	10% del actual	Coste unitario (€)	Coste total actual (€)	Coste con 10% de accidentes (€)
Fallecidos	30	3	1,41 millones	42,3 millones	4,23 millones
Heridos hospitalizados	175	17,5	220.329	38,56 millones	3,86 millones
Heridos leves	10.449	1.044,9	6.137	64,13 millones	6,41 millones
Total	---	---	---	144,98 millones	14,5 millones

Figura 4.4.1: Reducción de costes debido a disminución accidentes [4] y [6].

Como se puede observar, que el coche autónomo se implante de forma efectiva significaría un ahorro de 130,5 millones de euros anuales, un 5% del presupuesto total del ayuntamiento.

4.4.2 Reducción recaudación multas de tráfico

El ayuntamiento de Barcelona recaudó en 2016 59,8 millones de euros en multas de tráfico. Los coches autónomos estarían programados para obedecer las leyes de circulación en todo momento, por lo que la recaudación se vería considerablemente reducida cuantos más coches autónomos haya en circulación.

4.4.3 Parquímetros

39 millones de euros fueron a parar al presupuesto de la ciudad, provenientes de los parquímetros públicos. Como se ha detallado con anterioridad, los vehículos autónomos reducirían las plazas de aparcamiento necesarias, por lo que los ingresos del ayuntamiento por aparcar en plazas públicas también se verían reducidos.

4.4.4 Automatización transporte público:

Si la automatización llega al transporte público de Barcelona se verá reducido el número de conductores necesario, que implica a su vez menos salarios a pagar. De acuerdo con la información disponible [15], actualmente el número de conductores de línea consta de 2.094 personas, con un salario medio de 39.248 euros anuales. Esto supone 113,98 millones de euros al año. Aún si la automatización fuera parcial el ahorro sería considerable.

El coste de adquisición no está claro, puesto que ningún fabricante de autobuses lo ha aclarado aún. Sin embargo, se sabe que las vainas de 15 personas – frente a las hasta 160 que pueden llevar algunos de los más de 1.000 buses articulados de la ciudad – cuestan ahora mismo 250.000 €. Para tener la misma capacidad harían falta 10.700 vainas, es decir, una inversión de 2.675 millones de euros. Esto se amortizaría en 18,36 años si se produjeran todos los cambios anteriores (ahorro por accidentes y reducción de recaudación de multas y parquímetros), aunque es muy probable que el precio de la tecnología se reduzca mucho, haciendo la amortización más rápida.

Así pues, se podrían resumir los puntos anteriores de la siguiente forma:

- Accidentes: Reducción de gasto de 130,5 millones € anuales.
- Multas de tráfico: Reducción de ingresos de 59 millones € anuales.
- Parquímetros: Reducción de ingresos de 39 millones € anuales
- Automatización del transporte público: Inversión de 2.675 millones €, puede ser gradual, y reducción máxima de gasto de 113,95 millones € anuales.
- Total
 - Si se automatiza todo el sistema de transporte público: Gasto máximo previsto de 2.675 millones de €, y reducción anual de 146,46 millones €. Amortización en máximo 18,36 años, muy posiblemente inferior.
 - Si no se automatiza todo el sistema de transporte público: Reducción anual máxima de 32,5 millones de €.

5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El coche autónomo se presenta como una sólida apuesta de futuro, siendo la evolución natural de los coches actuales. Existe otra alternativa, aún más incipiente que el coche autónomo, que pueda solucionar algunos de los problemas a los que también ponen solución los vehículos sin conductor. Ésta, analizada en el primero de los apartados a continuación, consiste en túneles subterráneos.

Las recientes plataformas de carpooling y carsharing podrían solucionar parte de los problemas derivados del uso de vehículos particulares que aspira a resolver también el coche autónomo; pero tal y como se ha demostrado con anterioridad, las soluciones que ofrecen no son tan efectivas, mientras que presentan más inconvenientes, y la aceptación es lenta.

En todo caso, se podría considerar la opción de que la implantación del coche autónomo no fuera efectiva, esto es, que se redujera a un artículo de lujo en manos de un sector reducido de la sociedad. Dados los recursos que los fabricantes están dedicando, los prometedores resultados de la tecnología en desarrollo, los beneficios esperados y el entusiasmo generalizado de las entidades y personas relacionadas con la materia, no parece que un fracaso vaya a ser el resultado.

Así pues, queda estudiar alternativas para el reparto de mercancías en ámbito urbano, que es el que se ha tratado en el proyecto. Para este caso sí que existen dos opciones que podrían competir o complementarse con el coche autónomo, la relación no está clara aún: drones y robots de reparto.

5.1 Túneles subterráneos

Elon Musk, CEO de Tesla, ha encontrado otra solución a los problemas de tráfico, contaminación, ruido y accidentes de las ciudades. Ésta consiste una gran red de túneles subterráneos por los que circulen unas plataformas eléctricas sobre las que viajen coches, peatones o bicicletas. De esta forma, el vehículo, por ejemplo, desciende hasta el túnel en un ascensor, se monta en la plataforma y ésta le conduce 200 km/h a hasta el ascensor más próximo a su destino. Dado que dichas plataformas son autónomas no existirían problemas de tráfico, al estar perfectamente coordinadas.

Para estudiarlo ya ha creado una empresa, The Boring Company, que se encuentra realizando pruebas en California para solucionar el tráfico de Los Ángeles. Sin embargo, se trata de una solución pensada especialmente para esa ciudad, dados los altos niveles de congestión, la vasta extensión de la ciudad y la prácticamente inexistente red de transporte público.

Aunque el planteamiento sea interesante, lo cierto es que presenta serios problemas si se trata de poner en práctica en otras ciudades. Primero, muchas otras ciudades ya tienen amplias redes de metro, cosa que dificultaría sumamente el trazado de nuevos túneles para los coches. Segundo, hay ciudades con alto valor patrimonial en su subsuelo, como Roma o Atenas, lo que impide excavar.

Además, este sistema alivia el tráfico en la superficie, pero el número de coches sigue siendo el mismo. Permanecería el problema de aparcamiento, y sería necesaria una inversión pública de considerables proporciones para crear una red de túneles suficientemente grande como para aliviar el tráfico de forma efectiva sin crear efecto de cuello de botella.

5.2 Drones

Los drones presentan la ventaja, respecto a cualquier vehículo de tierra, de que no se encuentran sometidos al tráfico. Es por ello que las entregas que pueden realizar con ventanas de tiempo mucho más estrechas, garantizando que el pedido esté en horas con muy poco margen, además de en tiempo récord. Es por ello que son ideales para entregas en un mismo día.

Por otro lado, el hecho de que puedan llevar poca carga útil – el máximo es de 5 kilos, y más tarde se espera llegar a 15, pero con drones más voluminosos – es un problema para las empresas de reparto. Para las entregas a empresas se complica aún más, y por las mismas razones que el coche autónomo: los servicios que les presta el conductor y la dificultad añadida que presentan las piezas de tamaño y geometría compleja.

Además, necesitan un espacio para aterrizar considerable. Cuanto mayor sea la carga a transportar mayor será también el dron necesario, por lo que su uso en ciudades sería complicado. Algunos expertos han propuesto crear buzones en las azoteas de los edificios,

donde los drones puedan aterrizar; sin embargo, es en zonas rurales donde realmente podrían triunfar. Además, de que los costes de distribución a esas zonas son más elevados, ahí los espacios son mucho más amplios, hay más casas y no tantos edificios de viviendas, y muy posiblemente menos obstáculos para los drones.

Así pues, todo parece indicar que el coche autónomo y los drones van a ser modos de reparto complementarios para negocios que tengan como clientes a particulares, cada uno desenvolviéndose en entornos diferentes.

5.3 Robots autónomos

Algunas empresas de reparto y start-ups ya han empezado a desarrollar pequeños robots – de medio metro de altura – encargados de repartir paquetería de hasta 10 kg de peso. Se trata de robots eléctricos dotados de ruedas que alcanzan entre 5 y 10 km/h, pensados para circular por la acera y entregar paquetes que se requieran con prisa como, por ejemplo, comida a domicilio.

La principal ventaja es que no están sujetos al tráfico, no necesitan una infraestructura dedicada y son baratos de operar. Sin embargo, podrían suponer un problema para peatones, como ha sido el caso de segways, patinetes eléctricos y similares en Barcelona, que han sido prohibidos en las aceras. Por otro lado, su alcance es muy limitado, por lo lento del transporte, la distancia que alcanzan y, en comparativa con un coche, la poca carga que pueden llevar.

Por lo tanto, igual que en el caso anterior, se espera que, si los robots de reparto consiguen implantarse, lo hagan de forma complementaria al vehículo autónomo.

6 VIABILIDAD

En este apartado se estudiará la viabilidad del coche autónomo desde el punto de vista económico, social y medioambiental. El objetivo es, pues, determinar si desde esos ámbitos es no sólo posible, sino adecuada, la implantación del coche autónomo.

6.1 Económica

La viabilidad económica viene dada por los beneficios económicos que se pueden obtener, así como los gastos ocasionados. En el caso del coche autónomo ya se ha demostrado con anterioridad que es viable económicamente: el precio del trayecto sería inferior al actual y el coste del transporte de bienes se reduciría. Los gastos que generan los coches actuales, como los accidentes, se verían reducidos, toda vez que el impacto sobre el sector público sería, a la larga, también provechoso.

Destacar también que la fuerte apuesta que están realizando los prácticamente todos fabricantes automovilísticos por esta tecnología debería servir como garantía de que se trata de un proceso económicamente viable. Las empresas relacionadas con el sector que se verán afectadas, como aseguradoras, mantenimiento o la del taxi, son conscientes de que el coche autónomo tendrá una amplia presencia en el futuro, por lo que ya están preparándose para los cambios que puedan suceder.

6.2 Social

La viabilidad social es, probablemente, la más clara de las tres que aquí se estudian. El coche autónomo nace como una mejora de los sistemas de transporte actuales, para solucionar algunos de los problemas que presentan: tráfico, congestiones, accidentes.... Todos ellos están presentes en todas las ciudades del primero mundo, sin que aún ninguna haya sido capaz de encontrar otra solución viable.

Pese a las ventajas que ofrece el vehículo autónomo, hay sectores de la población aún reacios a ceder el control. Así lo demuestra, por ejemplo, una encuesta de Volvo [16] con más de 50.000 participantes de diferentes países. Los resultados muestran aceptación y la percepción de que el coche autónomo va a ser el modo de transporte del futuro; sin embargo, un 72% cree que la conducción manual se debería mantener, un 55% que los

coches totalmente autónomos deberían tener volante y pedales, y un 69% que el usuario debería poder decidir la ruta.

Son datos que demuestran que la población es consciente de que la tecnología está próxima, pero falta confianza en las capacidades de la conducción autónoma. Es posible que, a medida que los vehículos autónomos se van haciendo presentes, la gente se vaya acostumbrando.

6.3 Medioambiental

La viabilidad medioambiental es una de las razones por las que el coche autónomo está teniendo tanto empuje. Ya se ha hablado en apartados anteriores de la reducción de emisiones contaminantes que tendría una implantación efectiva, tanto por la mejora en la eficiencia de las rutas como por el menor número de vehículos necesarios. Por tanto, la viabilidad medioambiental está asegurada.

7 NORMATIVA

España es un país pionero en cuanto a legislación se refiere. Desde 2015 se autoriza a fabricantes a realizar pruebas y ensayos de investigación en vías urbanas e interurbanas acotadas, con tan solo pedir un permiso a la Dirección General de Tráfico. Además, la misma entidad ha aprobado también en 2017 una nueva normativa [17] con la que se crea el marco legal para que particulares también puedan circular con vehículos autónomos. Finalmente, se preparan sendas actualizaciones para la ley de seguro obligatorio y de seguridad vial. Debido a que la primera depende de varios ministerios, y por tanto el proceso es más lento, se espera que lleguen entre 2018 y 2019.

Por tanto, se puede concluir que existe una voluntad del estado para adaptar la normativa a los cambios que el coche autónomo provocará. Lo que de momento nadie ha solucionado, dado que la situación aún no se ha presentado, es quién sería responsable en caso de accidente con un coche autónomo: el fabricante, el propietario o el usuario.

8 CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha ido estudiando el desarrollo del vehículo autónomo y el impacto que éstos tendrían, en concreto, en Barcelona. Durante todo el trabajo se ha podido constatar, cada vez más, la inminencia de dicho impacto. Lo que en un principio empezó como una posibilidad es, a día de hoy, una certeza.

Como puntos remarcables existen varios. El primero de todos, la cantidad de problemas que origina el tráfico rodado en una ciudad. Accidentes, contaminación, ruido y pérdida de productividad son algunos de los tratados, retos a los que las urbes modernas intentan poner remedio. Se ha visto como la solución a dichos problemas es sumamente compleja, pues la movilidad urbana está profundamente arraigada; y cambiarla es, en muchos casos, un proceso lento y costoso. La mayoría de los cambios se producen de forma lenta y guiados por la economía, lamentablemente, más que por conciencia social.

Se ha podido apreciar también el esfuerzo y la feroz competencia que están realizando los fabricantes de vehículos autónomos por entregar un modelo seguro y eficiente, con gran cantidad de recursos necesarios en una apuesta por ser los primeros. Resulta curioso que, de entre las grandes marcas y de los líderes en esta carrera, muchos de los prototipos que están en circulación ofrezcan características muy similares. También es remarcable la diferenciación por región: Estados Unidos es el país líder, con gigantes del sector como Ford o General Motors y recién llegados como Google o Tesla. Las firmas alemanas, Audi, BMW y Mercedes, les siguen de cerca, mientras que las marcas asiáticas, tradicionalmente referentes en tecnología en el coche, han empezado tarde.

Otro punto de interés especial es el considerable impacto que tendrán los coches autónomos en la industria y sectores adyacentes. Las grandes firmas, en muchos casos empresas centenarias con el mismo modelo de negocio desde su concepción, son las primeras en maniobrar para adaptarse a los cambios en su modelo de negocio resultantes de la implantación del coche autónomo. Por el contrario, resulta chocante que empresas de sectores asociados, tales como el de los seguros o repuestos, no hayan hecho aún ningún movimiento.

Finalmente, destacar la cantidad de ámbitos sobre los que el vehículo autónomo es capaz de hacer efecto. Es en este punto donde futuros estudios deberían centrarse. De momento

son todo hipótesis y teorías, pero a medida que la tecnología necesaria se va desarrollando, se podrán hacer precisiones cada vez más certeras.

Como resumen, se espera del vehículo autónomo una revolución en todo el sistema de transportes de personas y bienes, con capacidad para alterar la forma en que se concibe una ciudad misma. Se considera que es, por fin, si no una solución perfecta, lo mejor que tenemos a nuestro alcance para reducir los problemas derivados del tráfico en entornos urbanos.

9 BIBLIOGRAFÍA

9.1 Referencias bibliográficas

- [1] SAE, Society of Autonomous Engineers, *Automated driving levels of driving automation are defined in new SAE international standard J3016*. 2014
http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf
- [2] Departament d'Estadística, Ajuntament de Barcelona, *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2013, La mobilitat a Barcelona*. 2013
<http://www.bcn.cat/estadistica/angles/dades/economia/transport/emef/a2013/t47.htm>
- [3] Open Data BCN, Servicio de datos abiertos del Ayuntamiento de Barcelona. *Vehículos implicados en accidentes gestionados por la Guardia Urbana en la ciudad de Barcelona*, 2015
<http://opendata-ajuntament.barcelona.cat/data/es/dataset/accidents-vehicules-gu-bcn/resource/5ca57ab0-0cc0-4c9d-9e56-c456fb8ad2a1#additional-info>
- [4] DGT, Dirección General de Tráfico, *Información Municipal 2015*
http://www.dgt.es/informacion-municipal/2015/individuales/barcelona/08019_Barcelona.pdf
- [5] DGT, Dirección General de Tráfico, *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial España 2015*, pág. 137-160, 2015.
<http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/Las-principales-cifras-2015.pdf>
- [6] OECD, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, *Road Safety Anual Report 2016*, pág. 467-481, 2016.
<http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/7516011e.pdf?expires=1498474819&id=id&acname=quest&checksum=FE079B963F32A1EAF6A0CDCA09FDCAE>

- [7] Ajuntament de Barcelona, *Pla de mobilitat urbana de Barcelona 2013-2018*, 2014
<http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/sites/default/files/DESENVOLUPAMENTAC TUACIONSPMU.pdf>
- [8] Ayuntamiento de Barcelona, *Medida de gobierno: Programa de medidas contra la contaminación atmosférica*, 2016.
- http://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/sites/default/files/pdfs/Mesures%20Govern_CAST_low.pdf
 - <http://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/episodios#restriccions>
- [9] Aglomeración del BARCELONÈS I, constituida por los municipios de Barcelona y Sant Adrià de Besòs, *Mejora y recuperación de la calidad acústica*, 2016
http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/gestio_ambiental_del_soroll/plans/plans_daccio/docs/Pla-Accio-BCNI-castella-cor.pdf
- [10] HubCab, MIT, Massachusetts Institute of Technology
<http://hubcab.org/#13.00/40.7219/-73.9484>
- [11] McKinsey and Company, *Parcel delivery: The future of last mile*, Travel, Transport and Logistics, 2016
- [12] Arcadis, HR&A y Sam Schwartz, *Driverless Future: A Policy Roadmap for City Leaders*, 2017
<http://driverlessfuture.webflow.io/>
- [13] IDESCAT, Institut d'Estadística de Catalunya, *El municipio en cifra: Barcelona*, 2016
<http://idescat.cat/emex/?id=080193&lang=es>
- [14] University of Illinois, *Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments*, 2017
<https://arxiv.org/abs/1705.01693v1>
- [15] TMB, Transports Metropolitans de Barcelona, *Política i pràctica de retribució de TMB*, 2016.
https://www.tmb.cat/documents/20182/89788/Política+i+práctica+de+Retribució+de+TMB_09.pdf/8def5817-c123-4e4f-a421-b4644e14b105

- [16] Volvo USA, *Consumers say they want a steering Wheel in autonomous cars*, 2016
<https://www.media.volvocars.com/us/en-us/media/pressreleases/172308/consumers-say-they-want-a-steering-wheel-in-autonomous-cars>
- [17] El Confidencial, *España se pone las pilas: la DGT regulará por primera vez los coches autónomos en 2017*, 2016
http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-12-23/coche-autonomo-espana-dgt-2017-reglamento_1308238/