

Implicaciones éticas de los vehículos de conducción autónoma

David Gómez Ginel

Junio de 2019

Resumen– Los vehículos de conducción autónoma traen consigo un conjunto de implicaciones de carácter ético que deben ser tomadas en consideración antes de su adopción en nuestras vías. Más allá de la capa más mediática, compuesta por los dilemas en situaciones de accidente, en este artículo se presentan algunas de las implicaciones con más peso de cara al futuro cercano, organizadas en base a un conjunto de ámbitos concretos, tales como la sociedad, la economía, el medio ambiente y la ética y viabilidad del *software*.

Palabras clave– Vehículos Autónomos, Vehículos Eléctricos, Ética, Moral, IA, Implicaciones, Contaminación, Sociedad, Viabilidad.

Abstract– Autonomous driving cars bring with them a pack of ethical implications that should be taken in consideration before their adoption on our roads. Starting from the most media part, traffic accident dilemmas, this article holds some of the major implications based on a near future, grouped in some concrete areas, such as society, economy, environmental consequences and the *software* ethics and viability.

Keywords– Autonomous Cars, E-Cars, Ethics, Morals, AI, Implications, Pollution, Society, Viability.



1 INTRODUCCIÓN

Expertos estiman que para el año 2030 el 25% del volumen total de los vehículos vendidos presenten una autonomía parcial, y que otro 15% alcance el nivel de alta automatización[1], donde el propio sistema del vehículo será el que tome las decisiones. Esta última realidad desemboca en un número de cuestiones morales respecto a los efectos que pueden producirse al prescindir del factor humano al volante. En base a dichos porcentajes observamos que los vehículos autónomos tendrán un protagonismo realmente importante en un futuro no tan lejano, por lo que se ve necesario estudiar en este momento su viabilidad como herramienta de transporte, sus implicaciones directas e indirectas, así como los efectos que puedan provocar en la sociedad, el entorno y la tecnología.

El presente documento se presenta en base a un conjunto de apartados diferenciados. En primer lugar, y tras esta introducción, encontramos la exposición en orden de: el estado del arte, los objetivos planteados y la metodología seguida durante este proceso. Seguidamente se encuentran los resultados, los cuales constituyen el núcleo de contenido de este artículo; aquí se exponen las implicaciones éticas de los vehículos sin conductor, las cuales se encuentran albergadas en cada uno de los ámbitos investigados, empezando por los siniestros de tráfico y acabando con una recapitulación general. Tras los mencionados apartados se encuentran las conclusiones extraídas al realizar el trabajo de final de grado, así como dos apartados dedicados a los agradecimientos y a las referencias bibliográficas pertinentes.

2 ESTADO DEL ARTE

Actualmente encontramos multitud de publicaciones tanto de análisis como de investigación ética sobre los vehículos autónomos. A grandes rasgos pueden ser consultadas diferentes variantes, unas basan sus contenidos en poner atención a la opinión de cierto público a partir de encuestas o similares, otras tratan los dilemas que se generan mediante la herencia que han dejado grandes pensadores de la

- E-mail de contacto: david.gomezgi@e-campus.uab.cat
- Mención realizada: Tecnologías de la Información
- Trabajo tutorado por: Ruben Rubio Barrera (Departamento de Ingeniería de la Información y de las Comunicaciones)
- Curso 2018/19

historia y otras sostienen posibles situaciones destinadas a suceder mediante la ciencia.

Desde universidades hasta autores anónimos han estado trabajando en la materia que caracteriza este trabajo. Sin embargo, el enfoque que se ha estado siguiendo ha sido mayoritariamente hacia los dilemas que se plantean en una situación de accidente de tráfico inminente, quizás porque se trata de la parte más obvia cuando nos preguntamos qué implicaciones puede tener un coche que funcione por sí mismo.

En el presente artículo se van a abordar las implicaciones consideradas de más peso entorno a la moralidad o ética de esta revolucionaria tecnología. Desde los cambios sociales a los efectos medioambientales, así como la evolución económica, la ética de los programas y la viabilidad moral de estos nuevos transportes. Ciertamente es que se tratan los dilemas presentados en los siniestros de forma introductoria, dado su importancia en la materia, pero no constituyen un pilar central respecto al resto de ámbitos aquí presentados como sí suele ocurrir en este arte.

3 OBJETIVOS

Los objetivos que se han perseguido durante el desarrollo de este trabajo de investigación han sido principalmente los dos que aquí se verán detallados.

En primer lugar, y como meta principal, se han querido plasmar las implicaciones éticas existentes entorno a los vehículos de conducción autónoma, bajo los ámbitos considerados más destacables para un lector intrigado en esta materia.

En segundo lugar, y actuando como medida para asegurar el más correcto y completo resultado del objetivo anterior, se ha buscado otorgar datos científicos y de relevancia en relación a las implicaciones éticas recopiladas, cuyo desempeño sea el de permitir reflexionar sobre dichas implicaciones de cara al futuro que depara esta tecnología.

4 METODOLOGÍA

Inicialmente, y en base a la identificación de los pasos a realizar, se plantea dividir la elaboración del trabajo en dos fases diferenciadas, siendo estas la fase inicial de investigación y la fase resultante de redacción y desarrollo. Cada una de estas fases contiene un conjunto de actividades o tareas dependientes.

En términos generales los pasos seguidos durante la primera fase se han basado en la consulta de un amplio conjunto de fuentes, como son: artículos de investigación, publicaciones, conferencias y revistas; primero para la identificación de los ámbitos, en directa o indirecta relación con los vehículos autónomos, y segundo para la búsqueda concreta en cada ámbito de sus implicaciones éticas.

Durante la segunda fase se ha trabajado sobre la realización del contenido del artículo final en sí mismo, a partir de la investigación previa, empezando por idear los apartados que aparecen, además de unas primeras anotaciones e

ideas, siguiendo por unas primeras redacciones que han ido madurando progresivamente hasta su inserción final en este artículo.

De forma algo más concreta, la estructura en actividades de cada fase ha procedido de la siguiente forma:

FASE 1 - Investigación

1. (21/02 - 28/02): *Búsqueda e Identificación de los ámbitos en directa relación con los vehículos autónomos.*
2. (6/03 - 21/03): *Investigación y búsqueda de las implicaciones éticas concretas en cada uno de los ámbitos considerados.*
3. (22/03 - 29/03): *Clasificación y filtrado de la información encontrada.*

FASE 2 - Redacción y desarrollo

1. (9/04 - 13/04): *Elección de los apartados a elaborar y primeras anotaciones de contenido.*
2. (14/04 - 19/04): *Estructuración del contenido y primeras redacciones.*
3. (20/04 - 20/05): *Redacción completa del núcleo de contenido del artículo.*
4. (21/05 - 2/06): *Repaso, correcciones y modificaciones de los elementos redactados.*
5. (3/06 - 16/06): *Elaboración final del artículo.*

Para cada una de estas actividades fueron planificadas de forma inicial tanto un intervalo de fechas concreto así como las horas estimadas que podría ocupar su realización. Durante el transcurso de las actividades han aparecido pequeñas diferenciaciones en ciertas horas planificadas y algún día en concreto, pero en ningún caso afectando a las fechas pensadas para cada fase. Por lo tanto, se considera que se ha cumplido la planificación con éxito.

Planificación global de las fases:

- **FASE INVESTIGACIÓN:** Del 21 de febrero al 29 de marzo.
- **FASE DESARROLLO:** Del 9 de abril hasta el 16 de junio.

En cuanto a la metodología de trabajo, al ser un proyecto organizado en fases diferenciadas, centrado en cumplir con las fechas marcadas en la planificación y al contener tareas con cierto proceso evolutivo, se ha estado siguiendo un modelo basado en el desarrollo incremental. Para dar soporte a tal efecto, se ha hecho uso de una herramienta web dedicada, *KanBan-Tool*[2].

Las ventajas que permite esta herramienta se basan principalmente en llevar un seguimiento de las actividades de manera muy visual. Las tareas se pueden añadir y editar de una manera muy sencilla, admiten datos específicos como fecha de vencimiento, prioridad, estado y temática, además

de esto la plataforma otorga la opción de entregar pequeños informes temporales al correo electrónico, todo con el fin de controlar el avance y evolución de cada una de las actividades.

5 RESULTADOS

Seguidamente a este apartado encontramos los resultados del proceso realizado, se trata de la redacción de los contenidos, cuyo propósito es constituir el núcleo del trabajo de final de grado. La estructura de dicho bloque esta construida en el siguiente orden:

- Siniestros y el dilema del vehículo autónomo
- Efectos sociales
- Implicaciones ambientales
- La economía tras el vehículo autónomo
- La ética del *software*
- Viabilidad y moral

5.1 Siniestros y el dilema del vehículo autónomo

Según datos publicados por la Organización Mundial de la salud[3] cada año fallecen cerca de 1.3 millones de personas debido a los accidentes de tráfico, y entre 20-50 millones son víctimas traumatismos y heridas de diferente consideración no mortales. Los siniestros relacionados con vehículos suponen una de las causas de mortalidad más importantes en nuestro planeta, incluso llegando a situarse como la primera causa de muerte antes de los 30 años. Diferentes estudios han recopilado a lo largo de los últimos años gran cantidad de datos referentes a dicha problemática[4], llegando a una conclusión común: el error humano supone estadísticamente más del 90% de las causas de los siniestros. Viendo estos datos es sensato pensar que es necesario actuar sobre este componente de la ecuación que resulta tan fatídico. Parece que la solución óptima podría pasar por tratar de eliminar la interacción humana en lo que sea posible, es aquí donde ganan protagonismo los vehículos de conducción autónoma.

Basándonos puramente en la teoría, con los vehículos autónomos es altamente probable que los accidentes se vean reducidos en un porcentaje muy importante, pero en la práctica aparece un peso ético-moral ciertamente interesante. En una situación de accidente inevitable y múltiples posibilidades, un *software* va a decidir sobre las vidas humanas que se encuentran en juego, eligiendo si priorizar la vida de los ocupantes del vehículo o priorizar al peatón que está cruzando sin mirar por donde no hay paso de cebra, o al vehículo que no ha respetado un semáforo en rojo. Este sistema de prioridades se está convirtiendo en el dilema moral más real e importante de las últimas décadas, y en vistas generales no parece demasiado claro en qué variables debe estar basado. Sin embargo, es completamente necesaria su existencia, y esta debe estar consensuada como justa por la sociedad y los organismos relacionados con la fabricación y distribución de los

vehículos, así como ligada a responsabilidades morales y legales.

El dilema del *software* de conducción autónomo se plantea a menudo como un experimento ético clásico, principalmente como el dilema del tranvía planteado por *Philippa Foot*[5]. En este dilema se plantea una situación de emergencia: un tranvía avanza sin poder ser detenido, a pocos metros se encuentran cinco personas amarradas a la vía. Sin embargo, encontramos una bifurcación justo antes de alcanzarlas, con solo accionar una palanca el tranvía cambia de dirección, pero en esta otra vía encontramos a una sexta persona, la cual se encuentra también atada a la vía (Fig.1). ¿Debemos accionar la palanca? Intervenir significaría matar a una persona, pero no intervenir concluiría en dejar morir a cinco.

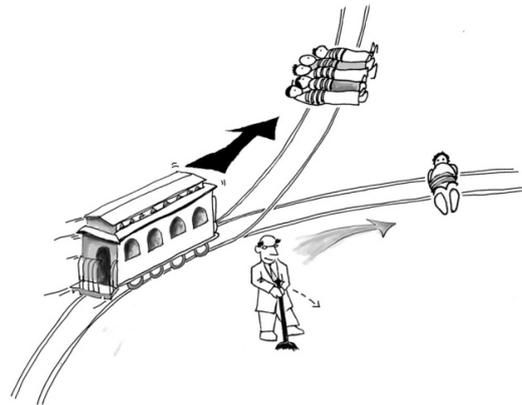


Fig. 1: Escenificación del dilema del tranvía[6].

Es natural plantear esta visión comparativa, pero puede no ser el enfoque adecuado para basar el estudio del dilema del vehículo autónomo. En este encontramos un problema con un grado de dificultad diferente al dilema clásico del tranvía, esto es así debido a que dicho dilema plantea sus consecuencias únicamente como certezas. En una situación de accidente inminente en un vehículo autónomo se llevan a cabo multitud de cálculos a tiempo real en base a simulaciones, obteniendo así un conjunto de probabilidades para cada posibilidad y sus incertezas, con las que debe ser decidida la maniobra óptima. Imaginemos la situación vista anteriormente con sus tres posibilidades: colisión con un muro cercano, alcance al peatón o colisión con el otro vehículo. En este planteamiento el *software* debería establecer un conjunto de probabilidades de riesgo para cada uno de los finales probables, basados en todas las métricas que le sean posibles obtener en ese instante mediante el conjunto de sensores y dispositivos destinados a ello, y no solo las físicas como velocidades, trayectorias, masas, comportamiento de materiales y estado de la calzada, sino también detalles de los actores implicados, como edad (mediante reconocimiento facial) y demás condicionantes (uso de cinturón, etc.). Con estas simulaciones se asegura que los resultados obtenidos son los más cercanos posibles a un desenlace real.

El debate ético debe suceder entonces sobre estas probabilidades e incertezas, dejando de lado la vista generalista a las situaciones que pueden verse planteadas, y escoger entre un desenlace con sus X-riesgos e Y-porcentajes, u

otro distinto. De esta manera, la elección puede llegar a verse simplificada, pero si enfocamos el problema de manera que los resultados sean certezas, como el dilema del tranvía, ninguna situación parece resultar en una solución éticamente gestionable.

Los vehículos sin conductor eliminan el factor humano en la conducción, pero lo hacen en esa entidad en concreto: el error humano sigue presente en el entorno, aún actúan los demás vehículos no autónomos que circulan en las inmediaciones o los peatones, y ambos suponen un verdadero problema a tener en consideración, debido a la incertidumbre que crean dado a sus posibles acciones de carácter impredecible. Inevitablemente, los accidentes de tráfico seguirán ocurriendo y por lo pronto por causas como la mencionada en este mismo párrafo.

Los accidentes y los dilemas que plantean ocupan gran parte de la atención cuando se discute sobre la parte ética que traen consigo los vehículos autónomos. Sin embargo, se trata de la punta del iceberg, la parte más visible y a la que se le otorga mayor repercusión. En los siguientes apartados del presente documento se van a desarrollar algunos de los ámbitos con las implicaciones éticas consideradas de mayor peso.

5.2 Efectos sociales

Actualmente las personas utilizamos los vehículos de forma constante, ya sea para ir a trabajar, a estudiar, o para ir a comprar, incluso para los trayectos más cortos que perfectamente podrían ser cubiertos a pie, simplemente por el hábito que se ha generado en la sociedad y al cual nos adaptamos nada más obtenemos acceso a un vehículo, ya sea conducido por nosotros o no. Esta realidad genera una masificación de activos circulando, lo que desemboca en muchos casos en atascos, retenciones y plazas de aparcamiento eternamente ocupadas.

A lo largo de un único año un ciudadano de Barcelona o Madrid puede pasar entre 28 y 42 horas atrapado en atascos[7], y esto sólo teniendo en consideración los viajes de ida y vuelta a su puesto de trabajo. Diferentes estudios y entrevistas realizadas sobre entornos de centro urbano han dado sorprendentes resultados[8] en cuanto a la situación de los conductores durante las congestiones de tráfico: alrededor de un tercio del volumen total de conductores ya habían llegado a su destino y simplemente seguían circulando en busca de un lugar donde aparcar. Este hecho no solo genera un malestar en los ciudadanos fruto de la desesperación, sino que también produce un gran aumento de gases de efecto invernadero.

Los hechos detallados anteriormente, junto con la realidad futura de los vehículos autónomos y la suma de las ya existentes compañías de coche compartido, como por ejemplo las organizaciones *Car2Go*[9] o *UberX*[10], dejan entrever que la movilidad urbana basada en el vehículo propio podría estar destinada a desaparecer. Esta idea gana aún más fuerza a través de recientes estudios realizados por la universidad de *Berkeley*[11] donde se concluye que técnicas de vehículo compartido como las llevadas

a cabo por *Car2Go* reducen la congestión del tráfico, así como aumentan los estacionamientos disponibles. Imaginemos entonces dichas técnicas aplicadas sobre una flota autónoma: los vehículos sirven a los ciudadanos llevándolos a sus destinaciones para posteriormente estacionarse solos, a esperar a un nuevo servicio, o acudir a la ubicación de un nuevo pasajero al que transportar.

No parece descabellado pensar que es bastante probable que la sociedad evolucione hacia este nuevo hábito de compartir coche, el cual resultaría en un aumento considerable de la productividad, una mejora del estado anímico, una reducción importante de las emisiones contaminantes y en muchos casos un ahorro para el bolsillo. Además, cabe añadir que con el tiempo este tándem de vehículos autónomos compartidos resultaría en una reducción del volumen general de transportes en circulación, debido a la maximización de la tasa de uso por cada vehículo y a la adaptación progresiva de la sociedad a este nuevo e inteligente hábito, es decir, cuanto más uso se le da a un solo vehículo menos vehículos son necesarios.

5.3 Implicaciones ambientales

Como es sabido, los vehículos comportan una serie de importantes implicaciones en el medio ambiente. El rumbo que están tomando las empresas dedicadas a la fabricación de vehículos de cara al futuro próximo se inclina hacia el motor eléctrico y no podía ser de otra manera para los autónomos, los cuales están siendo totalmente desarrollados en esa dirección. Los vehículos eléctricos proporcionan algunas ventajas en términos ambientales en comparación con los tradicionales o de combustibles fósiles, siendo la más importante la no producción de emisiones contaminantes durante su uso. Pero esto no significa que los eléctricos no causen efectos negativos en el medio ambiente, ni mucho menos.

Existe una contaminación entorno tanto a la fabricación como al uso del vehículo eléctrico la cual podríamos denominar como indirecta o secundaria. En primer lugar encontramos la problemática de las baterías, que contienen litio, cobalto y manganeso, los cuales son altamente contaminantes y se genera CO₂ durante la fabricación. Además el cobalto utilizado tanto en la misma batería como en ciertas partes del vehículo es obtenido principalmente en países subdesarrollados y mediante prácticas de abuso laboral, como la explotación tanto de adultos como de menores[12]. También hay que considerar que los vehículos eléctricos son de media alrededor de un 24% más pesados que los convencionales[13], hecho que resulta en un desgaste superior tanto en neumáticos como en frenos, los cuales desprenden partículas que afectan negativamente al entorno. Para seguir, encontramos la realidad entorno a la carga: la electricidad es generada en un alto porcentaje mediante combustible fósil[14](Fig.2), por lo tanto se emiten gases de efecto invernadero.

Para más controversia encontramos un estudio[15] realizado por *Christoph Buchal*, profesor de física en la Universidad de Colonia, en el cual se afirma que un vehículo eléctrico puede llegar a contaminar entre un 11% y un 28% más que un diésel, en base a una investigación

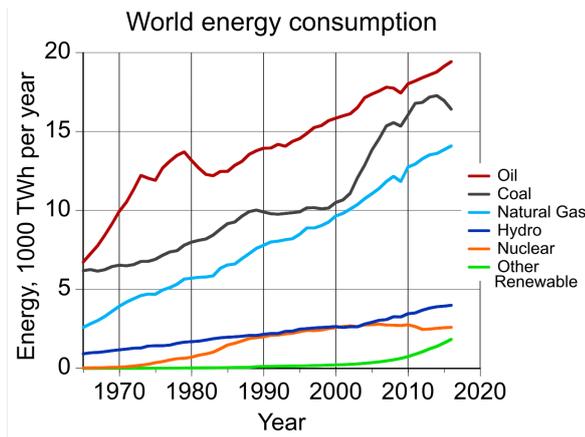


Fig. 2: Gráfico realizado en 2015 por el banco mundial, consumo eléctrico per cápita expresado en kWh con estadísticas de la OCDE/AIE.

comparativa llevada a cabo entre dos vehículos concretos y muy conocidos. En 10 años y 15.000km recorridos de media por año, el coche con motor eléctrico generaría unos volúmenes de emisiones superiores en base al CO2 generado durante la fabricación de la batería, así como las emisiones fruto de las recargas periódicas de la misma.

Como se ha visto comentado en este artículo, el futuro del vehículo autónomo tiene tendencia a evolucionar en base a un esquema compartido. Este hecho reduciría tanto fabricación como volumen de activos en circulación, y a su vez, las emisiones de gases de efecto invernadero, como ya está empezando a suceder según diferentes estudios, entre ellos los llevados a cabo por una de las grandes empresas de transporte compartido[16].

5.4 La economía tras el vehículo autónomo

Los medios dedicados al transporte juegan un papel altamente determinante en la economía de un país. Esto es así debido a que, ya sea de manera directa o indirecta, se hace uso de los mismos como medio o fin para poder realizar o acudir a un trabajo. Una amplia parte de estos medios de transporte corresponde a los vehículos, por lo que el pase a un entorno donde los vehículos autónomos predominen puede afectar, positiva o negativamente, a un amplio abanico de ámbitos relacionados con la economía. A continuación se van a ver detallados algunos aspectos cuyas alteraciones podrían ser directamente condicionantes para la economía de un país.

5.4.1 La pérdida de empleo

El empleo constituye la base de toda economía, y la automatización de ciertas labores puede dar lugar a la desaparición de multitud de puestos de trabajo, dejando a miles de personas en estado de desempleo. Este hecho se está convirtiendo en una realidad en este mismo instante. Es necesario entonces analizar objetivamente si este desempleo va a empañar la generación de nuevos puestos de trabajo fruto de este cambio fundamental hacia la automatización o no.

Centrándonos en la automatización de los vehículos, veamos por ejemplo el caso de los taxis, uno de los gremios que recibirá un mayor impacto. La Universidad de Columbia afirma en un estudio[17] que en la ciudad de Nueva York sería posible reemplazar el servicio de todos los taxis actuales por una flota de 9.000 vehículos autónomos gestionados por una empresa privada, los cuales traerían consigo unos tiempos de espera muy bajos y unos precios altamente reducidos en comparación con el taxi a día de hoy. Esta situación tendría como resultado a más de 13.000 taxistas desempleados e importantes afectaciones en empleos total o parcialmente dependientes como los relacionados con los servicios de soporte (centros de llamadas, etc.) o los mecánicos. Incluso el uso del transporte público se vería afectado, ¿Para qué tomar un autobús o el metro cuando un “Uber” autónomo resulta más óptimo? A escala global la adaptación de una alternativa igual o similar a la mencionada en las grandes ciudades generaría efectos devastadores en la diferencia de riqueza, además no solo se implantaría en el taxi. Es por ello que hay que involucrarse en idear estrategias paliativas que permitan mitigar los efectos económicos adversos que van a provocar las implantaciones de vehículos sin conductor en nuestros empleos.

La tecnología está en constante evolución, y es natural que el ser humano cambie con ella, así ha sido siempre. En una encuesta[18] realizada en el año 2014 se recogen multitud de opiniones de expertos en diferentes campos hacia la automatización de los empleos y sus consecuencias. Alrededor del 48% de los participantes mostraron preocupación en cuanto al negativo impacto que generaría en la creación de empleo, mientras que el 52% restante se mostraba más optimista y apostaba por la generación de nuevos puestos de trabajo. Uno de los resultados más interesantes de este estudio fue un punto en común que demostraron ambos bandos: la educación actual no está formando a los ciudadanos para el mercado con el que se van a encontrar en el futuro.

5.4.2 El declive del vehículo privado

Ser dueño de un vehículo lleva siendo la tendencia general en la sociedad desde prácticamente el inicio de la producción masiva de estos. Tan solo en España encontramos un número cercano a los 30 millones de vehículos[19] para una población que asciende a los 47 millones de personas, cada 3 personas hay prácticamente 2 vehículos. Estados Unidos lidera el ratio de coche por persona en el mundo, con un valor de 1.3 vehículos por ciudadano. La empresa consultora *PriceWaterHouseCoopers* afirma a través de un estudio predictivo[20] que el 99% del volumen total de vehículos estadounidenses van a desaparecer debido al coche autónomo. Esta reducción probablemente pueda producirse en similar escala en entornos con el mismo nivel de desarrollo. Bajo esta premisa, industrias como la del automóvil, organizaciones financieras vinculadas a la venta de vehículos, el aparcamiento privado o el propio servicio post-venta van camino a la bancarrota debido a la erradicación de su demanda.

Las futuras prácticas de *carpooling* o coche compartido además de las flotas autónomas de empresas privadas de transporte serían las principales causantes de este drástico cambio. La eficiencia de los vehículos sin conductor, al prestar servicio a los ciudadanos, en conjunto con los reducidos precios, convertiría en una opción inviable la adquisición y mantenimiento de un vehículo privado. Incluso a día de hoy, sin vehículos autónomos, técnicas de coche compartido ya son menos costosas para ciertos desplazamientos y rutinas que la tenencia de un coche propio, tal y como podemos comprobar en algunos estudios, como el realizado en la ciudad de Los Ángeles[21] por un usuario de este nuevo esquema.

5.4.3 Los beneficios

Los vehículos sin necesidad de un conductor traen también numerosos beneficios, aparte de las negativas consecuencias que se han visto aquí presentadas. En este apartado se van a comentar algunos de los efectos más positivos que pueden aportar a la economía global.

Destaquemos primeramente el ahorro en el ámbito de los accidentes. Estos sucesos traen consigo, dejando a un lado los enormes costes vitales, una serie de costes referentes a los servicios de emergencia, de administración o médicos entre otros. Como hemos visto anteriormente en este artículo, es muy probable que, con la implantación masiva de los vehículos autónomos, los siniestros se vean reducidos hasta en un 90%.

Seguidamente encontramos el ahorro en lo relacionado con la contaminación y el medio ambiente: menos contaminación resulta en menos inversión en políticas, así como soluciones e impuestos medioambientales, hecho que concluye en un mayor presupuesto para el resto de medidas políticas. Además, el correcto reciclaje de los vehículos, que actualmente forman casi la totalidad del volumen total en circulación, trae consigo beneficios, como el ahorro en adquisición de materias primas, a su vez que se reducen explotaciones como la minería y similares.

Finalmente la no necesidad de adquirir y mantener un vehículo propio otorga a los ciudadanos un mayor poder adquisitivo, el cual puede ser invertido bajo otro objetivo. A su vez, la reducción del tiempo perdido en atascos provoca un aumento de la productividad que sin duda alimenta a las empresas.

Esta reestructuración total puede devolver unos beneficios importantes, que pueden ser invertidos en nuevos proyectos, los cuales pueden resultar en la creación de nuevas industrias, nuevas organizaciones o investigaciones de diferente índole, por ejemplo. En definitiva, la tecnología tiene la capacidad necesaria para generar riqueza, y en consecuencia crear empleo.

5.5 La ética del *software*

Debido a la alta complejidad que presenta el problema de conseguir un vehículo totalmente capaz de circular de manera autónoma, la programación basada en reglas

implícitas se considera del todo inviable. Por ello los sistemas autónomos aprenden mediante mecanismos de *Machine Learning* con una introducción de datos masiva, que reciben tanto de sus propios componentes sensoriales como de las bases de datos que la empresa desarrolladora les proporciona. El proceso de aprendizaje es vitalicio, es decir, el *software* va a seguir recibiendo datos y actualizando sus componentes algorítmicos de manera permanente desde su primera puesta en marcha.

Una de las principales y más preocupantes problemáticas al generar un programa mediante este tipo de mecanismo, artificialmente inteligente, radica en la dificultad de corroborar de manera inequívoca cómo está aprendiendo, en qué hechos concretos está basando sus acciones, ya que los algoritmos generados se consideran cajas negras indiscifrables. En la inmensa mayoría de los casos, es altamente improbable descifrar el porqué se genera un resultado u otro. Por ello la forma con la que se evalúa el correcto funcionamiento de este *software* es mediante la observación de sus acciones y cómo estas se desempeñan, y no analizando su código. Esta imposibilidad de descifrar los algoritmos generados presenta dudas en cuanto a las decisiones que puede tomar un vehículo sin conductor y la ética a la hora de llevarlas a cabo. No es posible saber por qué se ha priorizado una decisión por encima de una alternativa. Lo único que se puede hacer es analizar la acción, su resultado y sacar conclusiones.

¿Cómo conseguimos entonces que los sistemas autónomos sean un agente ético total como una persona? Simplemente no se considera posible, al menos por el momento y hasta una evolución realmente imaginativa de la inteligencia artificial, un vehículo no va a actuar en base a una moral propia, principalmente por dos motivos:

- Ni siquiera sabemos qué directrices morales y éticas debería seguir el *software*, no existe un consenso en el que basar el aprendizaje.
- El vehículo actuará en base a sus algoritmos, los cuales pueden estar condicionados, pero no bajo el raciocinio o un marco moral propio.

Respecto al primer motivo, es posible condicionar el aprendizaje de este *software* autónomo, de hecho se hace constantemente mediante la información que les es proporcionada para que adapten sus comportamientos. Pero el problema es en base a qué criterios éticos se debe realizar. Incluso entre las propias personas las decisiones morales bajo un mismo escenario pueden ser opuestas. Esto hace que sea visiblemente necesario el estudio, el debate y el consenso de tanto ingenieros como humanistas, así como ciudadanos y organismos gubernamentales.

El segundo motivo es el que convierte al sistema autónomo en un mal candidato para ser un agente ético comparable a un humano, la inteligencia del vehículo es la justa y suficiente para cumplir con sus propios algoritmos y realizar sus acciones, pero no está cerca de justificar mediante el razonamiento el desempeño de las mismas como sí podemos hacer las personas.

Por lo pronto, es difícil considerar un programa como un agente ético, pero las acciones realizadas por estos sistemas artificialmente inteligentes sí pueden analizarse desde la ética, de hecho deben ser utilizadas para sacar conclusiones las cuales permitan alimentar el proceso de transición hacia el futuro de la tecnología, para que esta permanezca por el camino más justo posible.

5.6 Viabilidad y moral

Desde el punto de vista moral no se debe considerar correcto desarrollar e invertir esfuerzo en implantar una tecnología la cual puede no resultar viable bajo ciertos contextos concretos, como algunas regiones, países, o en definitiva culturas, implantación que, además, puede causar consecuencias graves.

Veamos primero como ejemplo ciudades y carreteras de la India o algunos de sus países limítrofes similares. En esta región el respeto hacia la normativa de tráfico es prácticamente nulo[22], la presencia en las vías de grandes animales es muy frecuente y el estado de las calzadas así como de los vehículos es deplorable, tanto es así que lideran la tasa de mortalidad en accidentes. Dada la situación, es altamente improbable que la aparición de los vehículos autónomos resulte exitosa. A su vez, solamente el intento de adoptar sus prácticas sin antes tomar las medidas oportunas en su sociedad se podría considerar una imprudencia grave y con consecuencias fatales.

Además de este tipo de problemas tan visibles entorno a la viabilidad, encontramos otras problemáticas realmente relevantes que pueden no ser tan fáciles de identificar a simple vista. En los siguientes puntos veremos detalladas dos.

5.6.1 La relación humano-robot y la teoría de la mente

La teoría de la mente se puede definir como la capacidad del ser humano para ser consciente de las diferencias entre la situación de uno y las demás vidas presentes.

Esto sucede de manera casi inconsciente, y se obtiene debido al desarrollo cognitivo que ocurre durante la niñez, en base a la experiencia y el razonamiento. Esta capacidad permite a los humanos suponer comportamientos ajenos como si fueran propios. Esto sucede constantemente durante la conducción, en cada una de las maniobras que realizamos inconscientemente somos capaces de, a partir de observar nuestro entorno, suponer la próxima acción de las personas cercanas.

Un *software* entrenado no es capaz de realizar tal acción, ya que no es un ente con capacidad cognitiva ni raciocinio, por lo que se crea un ambiente de impredecibilidad en la relación entre vehículo y entorno. Cuando la situación comprende a agentes humanos, en algunos casos el resultado es cierta reducción de la viabilidad de esta tecnología. Aquí es donde la relación robot-humano resulta en una unión un tanto imperfecta. Mientras que el vehículo va a seguir al 100% las normas de circulación, los humanos en el mejor de los casos las seguirán más o menos, pero no a la perfección que los algoritmos esperan, por lo que pueden suceder situaciones indeseadas, como largos bloqueos por parte del sis-

tema al no reconocer correctamente el comportamiento de los elementos cercanos, o accidentes, ambos escenarios ya sufridos por el vehículo en pruebas de *Google*[23].

5.6.2 Adaptación social

La implantación del vehículo autónomo como un estándar en las calzadas requiere de una de las adaptaciones tecnológicas más importantes a las que deberán enfrentarse los ciudadanos en estas próximas décadas. Pero quizás esta adaptación a la tecnología no pese tanto en comparación a la necesaria adaptación psicológica que trasciende.

Una serie de encuestas llevadas a cabo en los Estados Unidos arrojaron interesantes resultados en cuanto a la posición psicológica de los ciudadanos ante esta futura práctica. En las respuestas recogidas durante el año 2016 solamente uno de cada cinco[24] ciudadanos encontraría seguro circular en el interior de un vehículo autónomo. Además, las personas que contaban con vehículos equipados con alguna característica semi-autónoma, como el frenado de emergencia o el control de carril, se mostraban un 75% más dispuestos a utilizar un coche autónomo. En estudios similares[25] realizados posteriormente en 2017, el 54% de los entrevistados se mostraba reacio a compartir carretera con vehículos sin conductor. Datos porcentuales como los presentados dejan entrever que la adaptación psicológica realmente puede llegar a tener unas implicaciones muy determinantes durante el proceso de transición y adaptación. Los resultados son preocupantes: algo más de la mitad de la población del país que lidera el desarrollo de los vehículos sin conductor no se encontraría cómoda conviviendo con ellos, y solo unos pocos los ocuparía.

En septiembre de 2017 fue publicado un artículo[26] que se ha considerado mencionar en este punto, en él se cuestionan las barreras que los ciudadanos van a necesitar superar para la confiar en los vehículos autónomos, sus autores destacan tres retos determinantes:

- Adaptación a los dilemas éticos de las tecnologías autónomas.
- Reacciones desproporcionadas hacia futuros accidentes.
- Información asimétrica y la teoría computacional de la mente.

El primer componente se refiere básicamente a los contenidos desarrollados en el primer apartado del presente artículo, en cómo debe estar basado el sistema de prioridades en caso de accidente inminente y su aceptación consensuada.

El segundo punto hace referencia al revuelo mediático que causan los accidentes de los vehículos sin conductor, y se hace eco de la necesidad de informar a los ciudadanos sobre los ratios reales y la imposibilidad de tener un entorno con cero accidentes.

Finalmente, en el tercer punto se detalla que, para conseguir una total confianza en esta tecnología emergente, es necesaria una correcta comunicación del vehículo con su entorno, es decir, tanto ocupantes como otros vehículos o

peatones, la cual deberá estar estudiada ampliamente para que las personas puedan generar un modelo mental representativo de las percepciones y las reglas de decisión de las maniobras o acciones, para entender así su funcionamiento y ser capaces de predecir sus comportamientos.

6 RECAPITULACIÓN

La lectura de este artículo debe concluir con la extracción de los contenidos más relevantes presentados, con el objetivo de permitir tanto su asimilación como su reflexión personal. Por ello, en este punto se va a proceder a cerrar los contenidos que pudieran haber quedado abiertos.

Los accidentes de tráfico son una lacra a nivel mundial, superando cifras a lo largo de los años. Una enorme parte de estos siniestros suceden debido al factor humano, por lo que los vehículos autónomos son una potencial solución. Estos vehículos pueden toparse con una situación de accidente inminente, sí, y la solución a este puede plantear un dilema moral en unos pocos casos, por lo que es necesario promover un debate ético previo y basado en la realidad, el cual permita llegar a un consenso sobre cómo se debería proceder. Hoy, empresas desarrolladoras de esta tecnología están optando por soluciones basadas en un conductor supervisor. Puede sonar paradójico, pero estamos hablando de vehículos con un nivel de autonomía limitado. Por ejemplo, *Tesla*[27] obliga al conductor a estar alerta en todo momento y con las manos en el volante, para que si algo sucede este tome el control al instante. Sobre el futuro, y con los niveles máximos de autonomía, pocas empresas se pronuncian, aunque no es el caso de *Mercedes-Benz*[28] ya que han hecho público que el 99% del trabajo invertido en ingeniería se está centrando en evitar las situaciones de accidente. Además han añadido que en sus vehículos siempre se va a priorizar la vida de los ocupantes[29], y lo justifican afirmando que se tiene un mayor control de los ocupantes que del entorno, un entorno que en estas situaciones se torna demasiado impredecible.

Considerando que encontramos una tendencia en auge hacia la práctica del transporte compartido, y junto con las desventajas de los hoy falsamente denominados vehículos de cero emisiones (eléctricos) presentadas en este documento, debemos reflexionar. El efecto negativo principal de estas, la contaminación indirecta o secundaria, puede en su mayor parte solucionarse mediante una transición de las eléctricas hacia los métodos de energía renovable. El resultado de esto no serían los ideales vehículos de cero contaminación, pero sin duda los eléctricos formarían la mejor alternativa a los vehículos de combustión tradicionales.

La adopción generalizada de los transportes autónomos comporta inevitablemente una importante reestructuración, tanto económica, como tecnológica y social. Estos cambios sienten la necesidad de ser abordados bajo un estudio científico dedicado. Sin duda nos encontramos frente a una revolución tecnológica que ayudará a dar forma a una nueva etapa del ser humano, ahora que aún estamos a tiempo es el momento de condicionar su resultado en la dirección que asegure el futuro más conveniente para todos.

7 CONCLUSIONES

Para concluir, se quiere destacar que, en este último punto del proceso, se consideran obtenidos unos buenos resultados, a la vez que se han cumplido las fechas tal y como se plantearon inicialmente. Respecto a los objetivos planteados como base del desarrollo del trabajo, se va a proceder a justificar a continuación el por qué se creen haber alcanzado satisfactoriamente.

En primer lugar, y siendo el objetivo primario, se han elaborado un conjunto de apartados, considerados realmente interesantes, sobre ámbitos ciertamente destacables, y que además se encuentran principalmente enfocados hacia los aspectos éticos y morales que implica una movilidad futura basada en los vehículos de conducción autónoma. En concreto, se han tratado contenidos tales como los dilemas que presentan los accidentes de tráfico, hasta los cambios que pueden generarse en el entorno social y en el comportamiento de los individuos, también las implicaciones que tiene en el medio ambiente la adopción de esta tecnología como apuesta de movilidad. Se han destacado los efectos que pueden darse en la economía tanto a corto como a largo plazo, así como las consecuencias en la diferencia de riqueza que una mala praxis podría provocar. Además, se han comentado los aspectos éticos que puede presentar un *software* de estas características, basado en la Inteligencia Artificial, y en último lugar la relación entre la viabilidad de esta nueva tecnología en ciertas situaciones en base a un punto de vista moral concreto.

En segundo lugar, encontramos, referentes al segundo objetivo planteado, un buen volumen de datos científicos con sus respectivas referencias, los cuales dan respaldo a las afirmaciones plasmadas, a la vez que invitan al lector a reflexionar desde el rigor y la seriedad. Se citan numerosos artículos de investigación, también ciertos estudios concluyentes, así como algunos de los sondeos más relevantes en base a diferentes partes del contenido.

Tras lo mencionado en este apartado de conclusión, se consideran alcanzados ambos objetivos, tras plantear un conjunto de líneas futuras de investigación, se dará por concluido este trabajo de fin de grado.

8 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Tras el proceso de investigación llevado a cabo, se han despejado dudas a la vez que se han adquirido y consolidado un buen número de conocimientos, pero también se han generado nuevas incógnitas e ideas a raíz de conocer mejor los aspectos que implica esta tecnología. Por este motivo se presentan un conjunto de posibles líneas futuras de investigación de diferente índole.

En lo que respecta a las implicaciones al medio ambiente, la obtención de materias primas para la fabricación de baterías sufre la necesidad de indagar en las posibles alternativas que podrían dar lugar a una sustitución, al menos de una manera parcial, tanto de estas materias como de los métodos que se están siguiendo para realizar la

extracción de las mismas.

En base a la sección 5.6.1, y a la *teoría de la mente*, parece interesante abrir un camino de investigación hacia métodos de comunicación que asegurarían la relación entre el vehículo autónomo y su entorno cercano. Estos métodos se centrarían en el objetivo común de erradicar la impredecibilidad que pueden contener ciertas maniobras para agentes ajenos al vehículo autónomo, como puede ser para los peatones cercanos.

De la misma manera, pero en sentido opuesto, parece conveniente también indagar en las investigaciones basadas en la detección, por parte del *software* autónomo, de los peatones cercanos, así como de las intenciones que muestran hacia posibles acciones futuras, tales como cruzar la calzada o simplemente caminar cerca de esta. Bajo esta temática encontramos diferentes soluciones y artículos, entre ellos el desarrollado por Zhijie Fang y Antonio M. López[31], ambos integrantes del Centro de Visión por Computador(CVC-UAB), donde presentan un modelo de detección de poses basado en estimaciones y mecanismos 2D.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer enormemente a mi familia y a mis compañeros por el apoyo que me han estado dando durante el transcurso del grado. Además quiero dar las gracias a Ruben, mi tutor en este trabajo, por su guía y ayuda durante el desarrollo del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Isabel G, El coche autónomo alcanzará la plena automatización en un horizonte de 10 años (CincoDías 2018, el país). [En línea] Disponible en: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/08/24/companias/1535126590_361186.html. [Consultado: Marzo 2019].
- [2] KanBan Tool, 2019. [En línea] Disponible en: <https://kanbantool.com>
- [3] Organización Mundial de la Salud. (2019). 10 datos sobre la seguridad vial en el mundo. [En línea] Disponible en: <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [4] Crash stats-nhtsa. (2019). [En línea] Disponible en: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>. [Consultado: Mayo 2019].
- [5] Grimes, W. (2019). Philippa Foot, 90, Dies; Philosopher Who Posed ‘Trolley Problem’. [En línea] Nytimes.com. Disponible en: <https://www.nytimes.com/2019/10/10/us/10foot.html>. [Consultado: Abril 2019].
- [6] Anónimo, A. (2019). [En línea] Disponible en: <https://birdgei.files.wordpress.com/2014/05/2.jpg?w=620&h=484>. [Consultado: Abril 2019].
- [7] Cuddy, A. (2018). ¿Qué ciudadanos europeos pasan más tiempo en atascos?. [En línea] euronews. Disponible en: <https://es.euronews.com/2018/02/07/-que-ciudadanos-europeos-pasan-mas-tiempo-en-atascos->. [Consultado: Abril 2019].
- [8] Shoup, D. (2007). Opinion — Gone Parkin’. [En línea] Disponible en: https://www.nytimes.com/2007/03/29/opinion/29shoup.html?_r=0. [Consultado: Abril 2019].
- [9] Car2Go, (2019). [En línea] car2go.com. Disponible en: <https://www.car2go.com/ES/es/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [10] Uber, (2019). What is UberX?. [En línea] uber.com. Disponible en: <https://www.uber.com/en-uk/ride/uberx/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [11] Martin, E. and Saheen, S. (2016). The Impacts of Car2go on Vehicle Ownership, Modal Shift, Vehicle Miles Traveled, and Greenhouse Gas Emissions: An Analysis of Five North American Cities. [En línea]. Disponible en: <http://innovativemobility.org/wp-content/uploads/2016/07/Impactofcar2go.FiveCities.2016.pdf>. [Consultado: Mayo 2019].
- [12] Dummett, M. (2016). Exposed: Child labour behind smart phone and electric car batteries. [En línea]. Disponible en: <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2016/01/Child-labour-behind-smart-phone-and-electric-car-batteries/>. [Consultado: Junio 2019].
- [13] Anon, (2019). How much do electric cars weigh? – EV Archive. [En línea] Disponible en: <https://evarchive.com/how-much-do-electric-cars-weigh/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [14] Martínez, M. (2019). ¿Cuánta de la potencia mundial viene de las energías renovables?. [En línea]. Disponible en: <https://www.nobbot.com/futuro/cuanta-potencia-mundial-viene-energia-renovable/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [15] Hessler, U. (2019). Ifo study casts doubt on electric vehicles’ climate-saving credentials — DW — 25.04.2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.dw.com/en/ifo-study-casts-doubt-on-electric-vehicles-climate-saving-credentials/a-48460328>. [Consultado: Mayo 2019].
- [16] BlaBlaCar (2019). El uso del coche compartido reduce 1.6 millones de toneladas de CO2 al año. [En línea] Disponible en: <https://blog.blablacar.es/blablalife/lp/el-uso-del-coche-compartido-reduce-1-6-millones-de-toneladas-de-co2-al-ano>. [Consultado: Mayo 2019].
- [17] Zhang, B. (2014). This Study Revealed The Staggering Potential Of Self-Driving Cars. [En línea] Business Insider. Disponible en: <https://www.businessinsider.com/how-self-driving-cars-could-solve-new-yorks-traffic-woes-2014-6?IR=T>. [Consultado: Mayo 2019].
- [18] Smith, A. and Anderson, S. (2010). AI, Robotics, and the Future of Jobs. [En línea] Fusbp.com. Disponible en: <http://www.fusbp.com/wp-content/uploads/2010/07/AI-and-Robotics-Impact-on-Future-Pew-Survey.pdf>. [Consultado: Mayo 2019].
- [19] Dep. Redacción, (2011). ¿Cuántos coches hay en el mundo?. [En línea] Disponible en: <https://noticias coches.com/noticias-motor/cuantos-coches-hay-en-el-mundo/41907>. [Consultado: Mayo 2019].
- [20] PriceWaterHouseCoopers, (2013). Look Mom, No Hands!. [En línea] Disponible en: <http://www.detroitchamber.com/wp-content/uploads/2012/09/AutofactsAnalystNoteUSFeb2013-FINAL.pdf>. [Consultado: Mayo 2019].
- [21] Hill, K. (2015). A Financial Model Comparing Car Ownership with UberX (Los Angeles). [En línea] Disponible en: <https://medium.com/@kaleazy/a-financial-model-comparing-car-ownership-with-uberx-los-angeles-b7becd917095>. [Consultado: Mayo 2019].
- [22] Torres, M. (2012). La India es el país con más muertos en accidentes. [En línea] Disponible en: <https://www.elmundo.es/elmundomotor/2011/05/16/conductores/1305556964.html>. [Consultado: Mayo 2019].
- [23] Richtel, M. and Dougherty, C. (2015). Google’s Driverless Cars Run Into Problem: Cars With Drivers. [En línea] Disponible en: https://www.eila.univ-paris-diderot.fr/_media/user/claude_dupuy/google_cars_text.pdf. [Consultado: Mayo 2019].
- [24] Edmonds, E. (2016). Three-Quarters of Americans “Afraid” to Ride in a Self-Driving Vehicle — AAA NewsRoom. [En línea] Disponible en: <https://newsroom.aaa.com/2016/03/three-quarters-of-americans-afraid-to-ride-in-a-self-driving-vehicle/>. [Consultado: Mayo 2019].

- [25] Edmonds, E. (2017). Americans Feel Unsafe Sharing the Road with Fully Self-Driving Cars. [En línea] Disponible en: <https://newsroom.aaa.com/2017/03/americans-feel-unsafe-sharing-road-fully-self-driving-cars/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [26] Shariff, A. and Rahwan, I. (2017). Psychological roadblocks to the adoption of self-driving vehicles. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Azim-Shariff/publication/319630815_Psychological_roadblocks_to_the_adoption_of_self-driving_vehicles/links/5a32ed850f7e9b2a28dfd3f5/Psychological-roadblocks-to-the-adoption-of-self-driving-vehicles.pdf. [Consultado: Mayo 2019].
- [27] TESLA ©. [En línea] Disponible en: https://www.tesla.com/es_ES
- [28] MERCEDES-BENZ©. [En línea] Disponible en: <https://www.mercedes-benz.es>
- [29] Taylor, M. (2016). Self-Driving Mercedes-Benzes Will Prioritize Occupant Safety over Pedestrians. [En línea] Disponible en: <https://www.caranddriver.com/news/a15344706/self-driving-mercedes-will-prioritize-occupant-safety-over-pedestrians/>. [Consultado: Mayo 2019].
- [30] Fang, Z. and Lopez, A. M. (2018). Is the Pedestrian going to Cross? Answering by 2D Pose Estimation. [En línea] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8500413>. [Consultado: Junio 2019].