



VEHÍCULOS AUTÓNOMOS



Miembros del grupo:

Javier Antón Durá

David Paredes Valverde

Guillermo Pedrajas Mayor

Javier Sánchez Martínez



Contenido

1. Tipología

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Clasificación.
 - 1.2.1. Según la tecnología de guiado.
 - 1.2.2. Según la autonomía.

2. Hardware

- 2.1. Lidar.
- 2.2. Radar.
- 2.3. GPS.
- 2.4. Ultrasonidos.
- 2.5. IMU.
- 2.6. Cámara

3. Software

- 3.1. Mapeado y localización.
- 3.2. Detección y clasificación de objetos.

4. Efectos sobre la sociedad

5. Conclusiones

6. Referencias



1. Tipología

1.1. Introducción

La promesa de un vehículo autónomo capaz de imitar las capacidades humanas de manejo y control a través de técnicas complejas percibiendo el medio que les rodea y navegando en consecuencia ha sido atractiva durante mucho tiempo. Tiene el potencial de transformar nuestra experiencia de viajar, sacar a las personas de entornos laborales de alto riesgo y optimizar nuestras industrias. Es clave para ayudarnos a construir las ciudades del futuro, donde nuestra dependencia y relación con los automóviles se redefinen, reduciendo las emisiones de carbono y allanando el camino para formas de vida más sostenibles. Y podría hacer que nuestro viaje sea más seguro ya que según la Organización Mundial de la Salud mueren más de 1,3 millones de personas cada año como resultado de accidentes de tráfico.

1.2. Clasificación

La clasificación de los vehículos autónomos es muy importante para conocer las características que pueden tener. Como este proyecto está centrado en los vehículos autónomos utilizados para el transporte de personas en vías urbanas, por lo que la característica más importante del análisis de tipos de vehículos es el grado de autonomía. Las otras clasificaciones están más enfocadas a robots industriales y por esta razón se han desarrollado de forma breve.

1.2.1. Segundo la tecnología de guiado

Existen diferentes categorías de vehículos autónomos dependiendo de la manera en la que es guiado por el recorrido que debe seguir [1].

- **Vehículos Filoguiados o de guiado inductivo.** Utilizan hilos conductores enterrados para determinar el camino deseado. Cada cable está conectado a una fuente de energía que oscila a diferentes frecuencias para los diferentes caminos disponibles. Sigue siendo la tecnología más precisa disponible hoy en día en entornos de alta humedad o baja temperatura y para áreas de trabajo muy estrechas, pero instalarlo y configurarlo es más costoso que otros sistemas.



Figura 1. Vehículo Filoguiado.

- **Vehículos de guiado óptico.** Capaces de seguir una línea dibujada en el suelo y tomar diferentes caminos leyendo el código. Su principal ventaja es que es fácil de reconfigurar pintando el suelo, pero su precisión es mucho menor que la de otros sistemas.



Figura 2. Vehículo de guiado óptico.

- **Vehículos de guiado láser o LGV.** Es la solución más popular y flexible en los espacios abiertos, donde el entorno cambia constantemente y las carreteras deben actualizarse periódicamente. El sistema de guiado consta de varios puntos de referencia (bandas de reflexión) ubicados en un mapa para cambiar y expandir las trayectorias, ofreciendo una mayor flexibilidad.

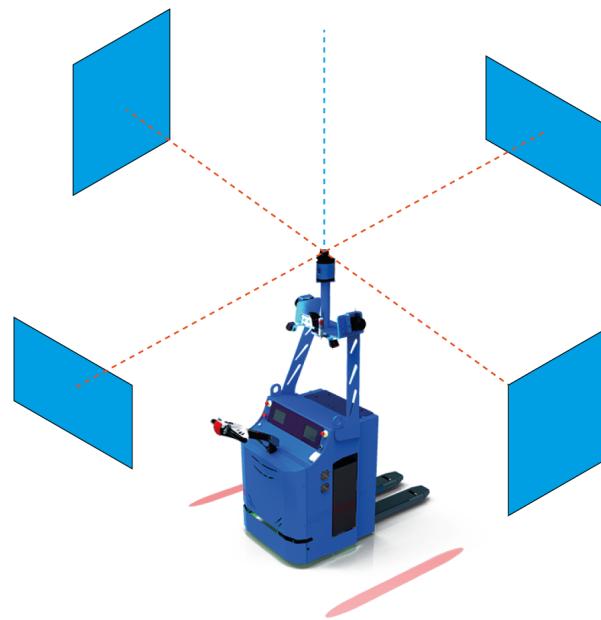


Figura 3. Vehículo de guiado láser.

- **Vehículos de guiado inercial o IGV.** Integran electrónica avanzada basada en odómetros (mide la distancia recorrida por un vehículo y registra los datos en unidades de longitud) y giroscopios (miden la velocidad angular, es decir, la velocidad de rotación). Las principales ventajas son la flexibilidad y los bajos costes de reconfiguración del sistema. Agregar discos magnéticos puede parecer intrusivo, pero el resultado es menos intrusivo que los sistemas de navegación magnéticos y menos costoso que los sistemas de navegación láser.



Figura 4. Vehículo de guiado inercial Agilox.



- **Vehículos autónomos inteligentes. Robótica móvil de guiado SLAM** (Simultaneous Localization and Mapping). Su principal diferencia con otros sistemas es su capacidad de cambiar su rumbo preprogramado para evitar obstáculos. No siguen ningún tipo de indicador para guiarse como los ya mencionados. Usan escáneres LIDAR para mapear los entornos y crear las rutas más eficientes. Además, puede ir acompañado de sonar, GPS, navegación inercial y visión por computador para mejorar la percepción del entorno.

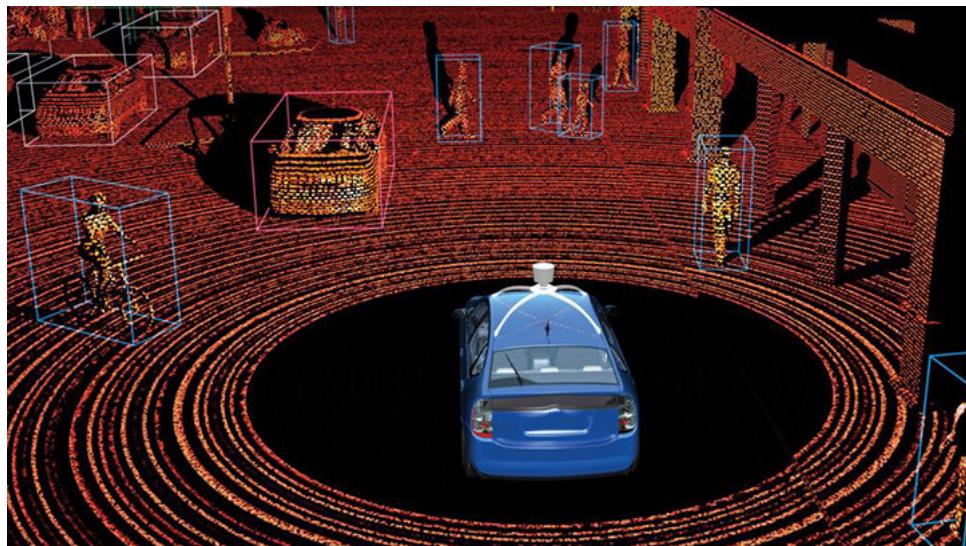


Figura 5. Vehículo inteligente con sensor LIDAR.

El tipo de carga que pueden manipular estos vehículos puede ser muy variado, desde transportar materiales u objetos hasta transportar o facilitar el transporte de un ser humano. Estos pueden tener diferentes diseños, según la carga que deben de transportar, como por ejemplo los siguientes: basados en una transpaleta con horquillas (p.ej. carga de camiones), vehículo con remolque, automóvil,etc.

1.2.2. Clasificación según la autonomía

En 2014, la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) publicó sus propias clasificaciones para definir el nivel de automatización de un vehículo. En este caso, su escala tiene seis niveles de automatización, de 0 (ninguna automatización) a 5 (vehículo totalmente autónomo), y se basa en la cantidad de intervención del conductor y la atención requerida, más que en las capacidades del vehículo, aunque estas están vagamente relacionadas [2].

Nivel 0: sin automatización en la conducción.

Las tareas de conducción dinámica son realizadas completamente por el conductor. Como mucho, en éste nivel el vehículo puede tener sensores que detectan objetos en la carretera, pero aún así el conductor tiene el control completo del vehículo y dependerá totalmente de él realizar una acción u otra. Un ejemplo podría ser el que aparece en la Figura 6.



Figura 6. Volkswagen Golf mk1.

Nivel 1: vehículo con asistencia a la conducción.

En este nivel, el sistema cuenta con algún sistema de ayuda a la conducción que únicamente puede trabajar de forma lateral o longitudinal pero nunca ambos movimientos a la vez. Por ejemplo, coches con sistemas de advertencia del cambio involuntario de carril o los controles de crucero. Este nivel está diseñado para que la conducción sea más cómoda y útil para mejorar la seguridad en la conducción. Un ejemplo podría ser el que aparece en la Figura 7.



Figura 7. Volkswagen Golf mk5 GTI

Nivel 2: automatización parcial de la conducción.

En este nivel, el vehículo tiene un asistente del conductor que puede controlar tanto el movimiento horizontal como el vertical, ambos a la vez. No es de extrañar que a partir de este grado de independencia, la accidentalidad descienda de forma significativa. Aún así, el conductor es el único responsable de la conducción porque estas herramientas tienen un



rango de uso limitado, además, el automóvil no está listo para responder cuando se detectan obstáculos inesperados. Por ejemplo, coches que se pueden mantener durante unos segundos en el mismo carril o asistente de aparcamiento que operan el volante y los pedales. Existen muchos modelos de diferentes marcas que son de nivel 2, ya que son los que más se están fabricando, como, por ejemplo, el que aparece en la Figura 8.



Figura 8. Volkswagen Golf mk7.5 GTI.

Nivel 3: automatización condicionada de la conducción.

A partir de este nivel, el conductor puede decidir si quiere que el vehículo realice las funciones de conducción. Aunque el conductor no necesita supervisar la conducción, debe de estar alerta e intervenir cuando el sistema lo requiera porque este no sepa cómo actuar ante una situación de riesgo. El coche dispone de sensores que le permiten llevar un control de lo que sucede en el entorno y poder realizar acciones como cambiar de carril o frenar para evitar accidentes. Cabe destacar que aunque el vehículo pueda realizar todas las tareas de conducción, siempre tiene que haber un conductor dentro. Uno de los modelos más reconocidos que está dentro de este nivel es el Tesla Model S, que aparece en la Figura 9.



Figura 9. Tesla Model S.

Nivel 4: alta automatización de la conducción.

En este nivel, el sistema de piloto automático puede conducir el vehículo de manera constante a lo largo del tiempo sin esperar que el conductor responda a las solicitudes de intervención, a menos que exceda su rango operativo. El sistema está preparado para actuar en situaciones peligrosas imprevistas y ejecutar una serie de acciones que conducen a la situación más segura sin asistencia. Es decir, los coches son capaces de tomar todas las decisiones por sí mismos, controlan el tráfico, el entorno y calculan sus propias rutas y deja de depender del ser humano. El ejemplo que aparece en la Figura 10 es el Hyundai Ioniq 5 RoboTaxi, del cual la firma coreana afirma que estará operativo en 2023, listo para ofrecer servicio sin conductor a sus clientes, ya que es un taxi sin conductor [5].



Figura 10. Hyundai Ioniq 5.

Nivel 5: automatización completa.



El vehículo tendrá la capacidad, bajo demanda, de realizar a través de la interfaz por el que se introducirán nuestras órdenes, de ir a cualquier lugar sin necesidad de volante, pedales o mandos. Ya no necesita que el usuario esté listo para intervenir si el sistema lo requiere o si ocurre un error. El propio sistema de automatización de la conducción tiene un sistema de respaldo para funcionar en caso de una falla del sistema principal y es capaz de conducir el automóvil en caso de un riesgo mínimo. Muchas compañías están centrando sus esfuerzos en llegar a este nivel de vehículos autónomos, como por ejemplo, la marca Audi, la cual muestra un concepto de diseño de este tipo de vehículos como el que aparece en la Figura 11 [6].



Figura 11. Audi Grandsphere Concept.

2. Hardware

Con el objetivo de poder tomar las decisiones acertadas, el coche necesita recopilar toda la información disponible en su entorno. Los sensores juegan un papel vital ya que recopilan información física del entorno y convierten esas señales físicas en eléctricas que luego se transmiten al microcontrolador a bordo del vehículo. Más concretamente, cada vehículo suele estar equipado con una unidad GPS, un IMU, y una serie de sensores: ultrasonidos, un radar, un lidar y cámaras.

Los datos de cada sensor se filtran para eliminar ruido y se combinan para aumentar el conocimiento del entorno y actualizar el mapa de su entorno para evitar obstáculos. Se recogen datos de forma periódica porque el proceso de localización, mapeo del entorno y detección de obstáculos se produce continuamente.



Entre los sensores más utilizados destacan:

2.1. Lidar

Tecnología de detección remota que se utiliza para medir distancias como se aprecia en la Figura 12. Utiliza sensores activos que emiten su propia fuente de energía para la iluminación. Funciona según el principio del tiempo de vuelo (TOF) enviando un pulso de luz láser y midiendo el tiempo que tarda el pulso en reflejarse. Estas mediciones pueden utilizarse para generar representaciones en 3D del entorno.

Se han utilizado mucho en aplicaciones de investigación, pero no se han generalizado en los sistemas de seguridad de los fabricantes de automóviles hasta hace bien poco.

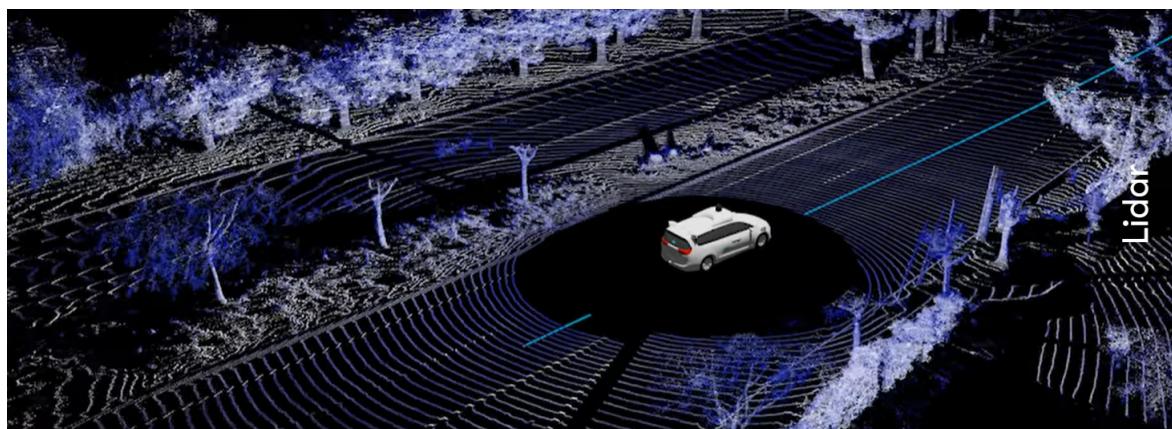


Figura 12. Visión sensores lidar

2.2. Radar

Tecnología que utiliza ondas de radio para medir la distancia, el ángulo y la velocidad de los objetos. Se basa en el principio de la radiación electromagnética que puede utilizarse en múltiples bandas de frecuencia . La mayor frecuencia proporciona una mayor resolución que permite al sistema de sensores distinguir entre múltiples objetos en tiempo real. Estos sensores se clasifican como de corto a medio alcance (50 - 100 metros), sin embargo, algunos son capaces de detectar un objeto a una distancia de más de 150 m . Ofrecen muchas ventajas para los vehículos autónomos debido a su robustez en todo tipo de condiciones ambientales. En comparación con los sensores Lidar, el radar es mucho menos costoso y está mucho más disponible. Los radar sólo se utilizan en los vehículos de carretera modernos que incorporan sistemas ADAS (Advanced driver-assistance systems). Estos sistemas están diseñados para proporcionar funciones de control de crucero y detección de colisiones. Otra característica importante de estos sensores es que también son capaces de determinar el movimiento relativo de los objetos detectados como aparece en la Figura 13.

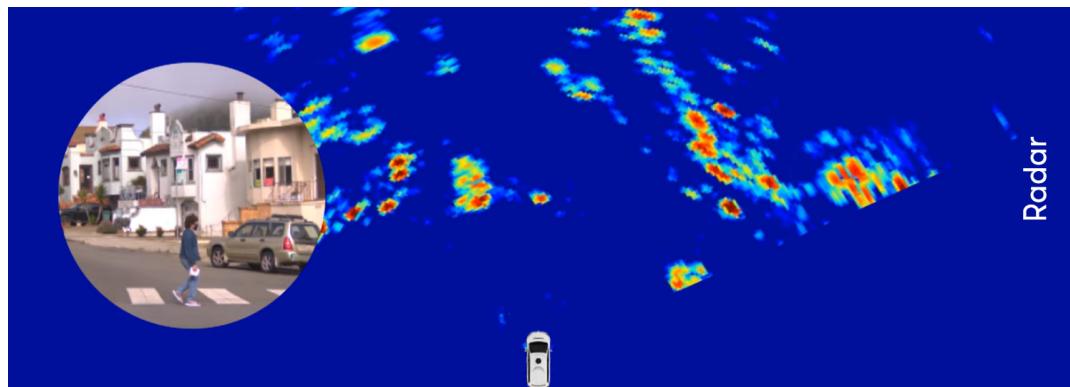


Figura 13. Visión radar

2.3. GPS

Sistema de posicionamiento global basado en satélites que proporciona información sobre la ubicación y la hora a un receptor GPS en cualquier lugar de la Tierra siempre que haya una línea de visión sin obstáculos hacia cuatro o más satélites geoestacionarios. Un receptor GPS puede calcular su posición cronometrando las señales enviadas por los satélites en órbita mediante un método de "trilateración", proceso de determinar la ubicación absoluta o relativa de los puntos mediante la medición de las distancias, utilizando la geometría de diversas figuras. El llamado "GPS diferencial" puede determinar una ubicación con una precisión de centímetros lo que es necesario para la navegación de un vehículo autónomo.

2.4. Ultrasonidos

Tecnología que utiliza ondas sonoras para medir la distancia a un objeto. Se emite una onda sonora hacia un objeto a una frecuencia específica y se utiliza el tiempo que tarda la onda en volver para calcular la distancia. Las principales ventajas de los sensores ultrasónicos son que suelen ser los más baratos de todos los tipos de sensores analizados. Son bastante robustos en condiciones meteorológicas adversas y también tienen un historial de fiabilidad demostrado, ya que han sido utilizados por la mayoría de los fabricantes de automóviles como sensores de aparcamiento durante años. Sin embargo, tienen una limitación de alcance que restringe mucho su uso.

2.5. IMU

Dispositivo electrónico que puede medir la fuerza, la velocidad angular y el campo magnético de un cuerpo. Suelen contener tres acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, uno para cada uno de los ejes ortogonales X, Y y Z. Son muy utilizados para el control y el guiado de vehículos autónomos. Se suelen implementar en sistemas de navegación inercial (INS) que procesan los datos brutos de la IMU para calcular la velocidad lineal, la actitud y las posiciones angulares en relación con un marco de referencia global. Esta información que proporciona la IMU se utiliza para mejorar las mediciones del GPS.



2.6 Cámara

Funciona según el principio de los sensores de luz pasivos para producir una imagen digital de una región cubierta. Las cámaras son capaces de detectar tanto los objetos en movimiento como los estáticos dentro de su entorno como se muestra en la Figura 14. La principal ventaja de las cámaras sobre cualquier otro tipo de sensor es que tienen la capacidad de ver colores y texturas. Esta es una gran ventaja para aumentar el sistema de percepción de un vehículo autónomo, ya que la tecnología permite al vehículo identificar las señales de tráfico, los semáforos, las marcas de los carriles, etc. Las cámaras también son capaces de determinar la distancia a un objeto concreto, pero esto requiere algoritmos de procesamiento bastante complejos. Otra de las principales ventajas de esta tecnología es su bajo coste y su alta disponibilidad, aunque la potencia de procesamiento necesaria para el análisis de los datos puede ser costosa, sigue siendo una opción más barata que los lidar. La mayoría de los fabricantes de vehículos autónomos tienden a sugerir que las cámaras son una tecnología fundamental para la navegación totalmente autónoma, pero que sólo pueden aprovecharse al máximo si se fusionan los datos que proporcionan con el lidar o el radar.

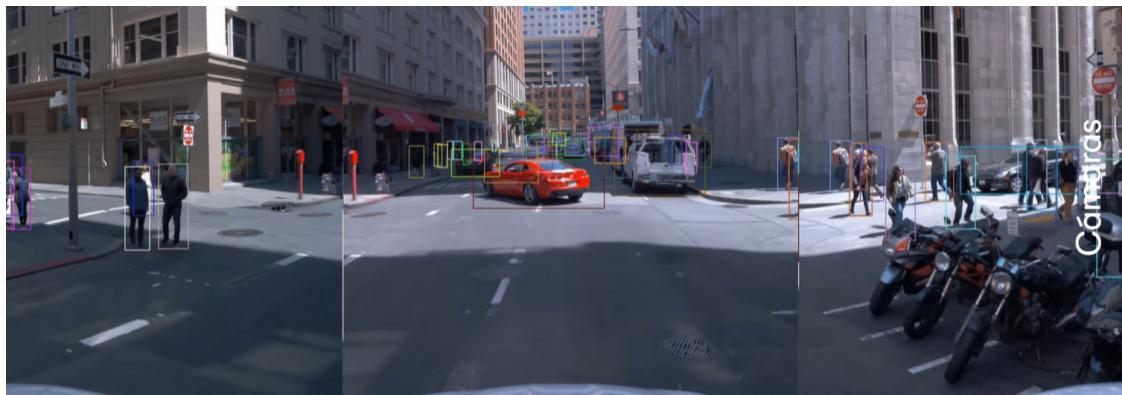


Figura 14. Visión de la cámara

Para tener éxito en la conducción autónoma, el hardware debe cumplir los siguientes objetivos:

1. **Seguridad.** La confiabilidad en un sistema dedicado a asegurar la integridad de los ocupantes del vehículo en un proceso que contiene riesgos potenciales de gran magnitud que podrían desencadenar en un accidente.
2. **Rendimiento.** Se deben cumplir los requisitos de desempeño para tener éxito.
3. **Coste.** Coste asequible en cuanto a desarrollo, mantenimiento y confiabilidad.



3. Software

Dado que la tarea de lograr que un vehículo sea capaz de desplazarse de forma autónoma, es decir, sin la necesidad de interacción humana, lleva consigo una gran cantidad de pasos y es un proceso complejo, existen diferentes formas de llevar a cabo el filtrado y uso de los datos recibidos por los sensores para tomar decisiones en base a ellos, por lo que en este apartado se realizará una pequeña introducción de aquellos métodos más extendidos para realizar algunas de las tareas necesarias en la conducción autónoma.

3.1. Mapeado y localización.

Dado que los vehículos autónomos están pensados para trabajar en entornos reales donde existen una gran cantidad de factores externos y obstáculos (como son personas, animales, árboles, otros vehículos, etc.) que dificultan el correcto funcionamiento del sistema, es crítico conocer la ubicación exacta del coche en el espacio para saber la forma en la que este se relaciona con los mismos y actuar en caso de que estas interacciones supongan un peligro. Debido a esto, los investigadores en el campo de la conducción autónoma llevan años tratando de resolver el problema de la localización y mapeado simultáneos, o SLAM por sus siglas en inglés, para dotar al vehículo de mapas y localización actualizada y precisa en cada instante.

En SLAM los sensores hardware utilizados para implementarlo se pueden dividir en dos categorías. Los sensores propioceptivos captan información interna propia del vehículo (velocidad, aceleración, orientación) y los exteroceptivos captan la información del exterior, de forma que combinando la información recibida por ambos tipos se puede localizar y mapear. En la conducción autónoma la forma que se tiene de obtener información es a partir de los sensores orientados al mundo exterior y el conocimiento del propio movimiento del sistema. La configuración más extendida es la combinación de sensores de guiado inercial basados en GPS combinados con la odometría del sistema o sistemas IMU para corregir los errores en las mediciones a medida que el vehículo avanza, y el uso de cámaras RGBD combinadas con sensores LIDAR. Así lo ejemplifica uno de los proyectos pioneros en este campo de la automoción como fue el desarrollado por La Universidad de Stanford cuando participó en el Urban Challenge, donde el vehículo utilizado generaba un mapa terrestre de remitancia infrarroja de alta resolución utilizando GPS, IMU y un Lidar 3D de 64 capas de múltiples escaneos sin conexión.

Este enfoque aportó una precisión nunca vista hasta el momento en proyectos de este tipo, así como la capacidad de aprender y mejorar los mapas a lo largo del tiempo, y una mayor robustez ante los cambios del entorno y los obstáculos dinámicos. Para lograr esto se



modeló el entorno como una cuadrícula probabilística en la que cada celda se representa como su propia distribución gaussiana, y posteriormente la inferencia bayesiana es capaz de ponderar las partes del mapa con mayor probabilidad de ser estacionarias y de reflectividad angular consistente, reduciendo así la incertidumbre y los errores. De esta forma la localización se realizó en un mapa con un filtro de histograma 2D con una precisión media de 10 cm (Figura 15).

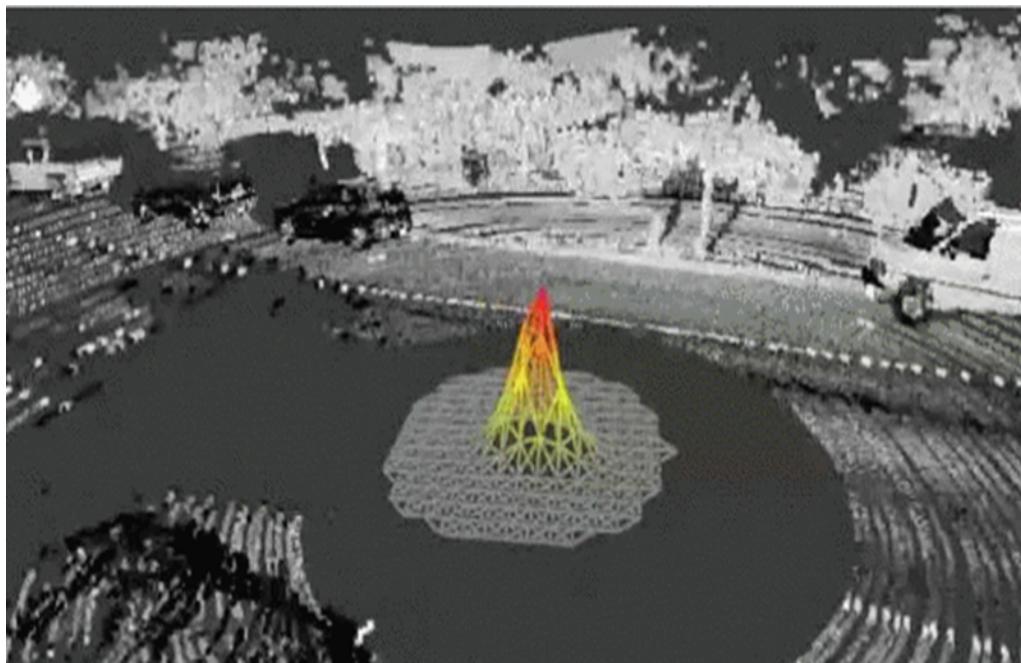


Figura 15: histograma 2D en tiempo real obtenido por la Universidad de Stanford.

Juntamente con SLAM, se emplean otra serie de algoritmos que llevan a cabo otras tareas relacionadas con la ubicación del vehículo y que aportan un grado más de precisión y seguridad al sistema. Este es el caso de la detección de las líneas que delimitan la calzada por la que circula el vehículo, un paso lógico si se desea conocer si el coche circula correctamente. Para ello, las marcas automotrices suelen emplear un módulo basado en el procesamiento de señales digitales denominado “VisLab Embedded Lane Detector” . El módulo VELD procesa las imágenes encuadradas por la cámara y devuelve la posición del carril. A continuación, la posición del carril se filtra para reducir el ruido, partiendo de la base de que no cambia rápidamente en una carretera convencional. Este módulo VELD se basa en la elaboración de transiciones oscuridad-luz-oscuridad (DLD) sobre una imagen de mapeo de perspectiva inversa (IPM). La transformación IPM permite eliminar el efecto de perspectiva de la imagen adquirida, transformándola en una escena 2D donde la información se distribuye homogéneamente entre todos los píxeles. Finalmente la detección



de marcas de carril se realiza sobre la imagen IPM, detectando las transiciones DLD y agrupándolas después según su proximidad.

3.2. Detección y clasificación de objetos.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, los vehículos autónomos deben estar diseñados para desempeñar su función en un entorno con una gran cantidad de obstáculos potenciales, para ello requiere un conocimiento más profundo del entorno para comportarse correctamente. Un ejemplo sería los pasos de peatones o semáforos con ellos, donde se requiere conocer la ubicación de los peatones y de la propia intersección para que el coche pueda tomar decisiones más sofisticadas. Esta tarea de detección del entorno descrita se conoce como percepción y suele constar de una serie de subtareas como la clasificación de objetos, la detección y la estimación de la posición 3D, entre otras.

Debido a que el proceso de percepción del entorno es complejo y comprende una serie de procesos secundarios, no existe un único método estudiado y desarrollado, por lo que cada equipo investigador decide qué enfoque se va a emplear en el programa de desarrollo. Como la subtarea de detección de objetos es en sí misma uno de los requisitos más importantes para la navegación autónoma, ya que esta tarea es la que permite al controlador del coche tener en cuenta los obstáculos a considerar para el cálculo de las posibles trayectorias futuras los algoritmos de detección de objetos deben ser lo más precisos posible, por lo que se suele hacer uso de alguna de las siguientes herramientas y librerías, ya que su efectividad y fiabilidad ya ha sido comprobada en los últimos años:

OverFeat

Es un modelo de red neuronal convolucional lanzado en 2013 por un grupo de investigadores del instituto de ciencias matemáticas de la universidad de Nueva York que implementa conjuntamente el reconocimiento, la detección y la localización de objetos de forma unificada. OverFeat es uno de los modelos de detección más exitosos hasta el momento, y cuando fue presentado en su día ganó la tarea de localización en el Desafío de Reconocimiento Visual a Gran Escala de ImageNet de 2013. Fue novedoso por su enfoque de aprendizaje profundo para la localización de objetos, aprendiendo a predecir los límites de los objetos, y después los límites de dichos objetos se acumulan en lugar de suprimirse para aumentar la confianza en la detección. Además de esto, la red neuronal tiene ocho capas de profundidad y depende en gran medida de un esquema de superposición que produce cuadros de detección a múltiples escalas y los agrega iterativamente en predicciones de alta confianza.



VGG16

VGG16 es una red neuronal convolucional que se propuso en 2014 por K. Simonyan y A. Zisserman de la Universidad de Oxford en el artículo "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition" como respuesta a la aparición de OverFeat y su objetivo era mejorar a esta en la clasificación y detección de objetos desde un enfoque basado en la exploración de los efectos de la profundidad extrema de las capas. El nuevo modelo arrojó un 92,7% de precisión en la prueba top-5 en ImageNet, que es un conjunto de datos de más de 14 millones de imágenes pertenecientes a 1000 clases. Mejora a AlexNet sustituyendo los filtros de gran tamaño del kernel (11 y 5 en la primera y segunda capa convolucional, respectivamente) por múltiples filtros de tamaño de kernel 3x3, uno tras otro. Para lograr estos resultados la red neuronal VGG16 se entrenó durante semanas y se utilizó la GPU NVIDIA Titan Black. Al final, se adoptó una arquitectura constituida por un modelo de 19 capas, la cual se muestra en la Figura 16.

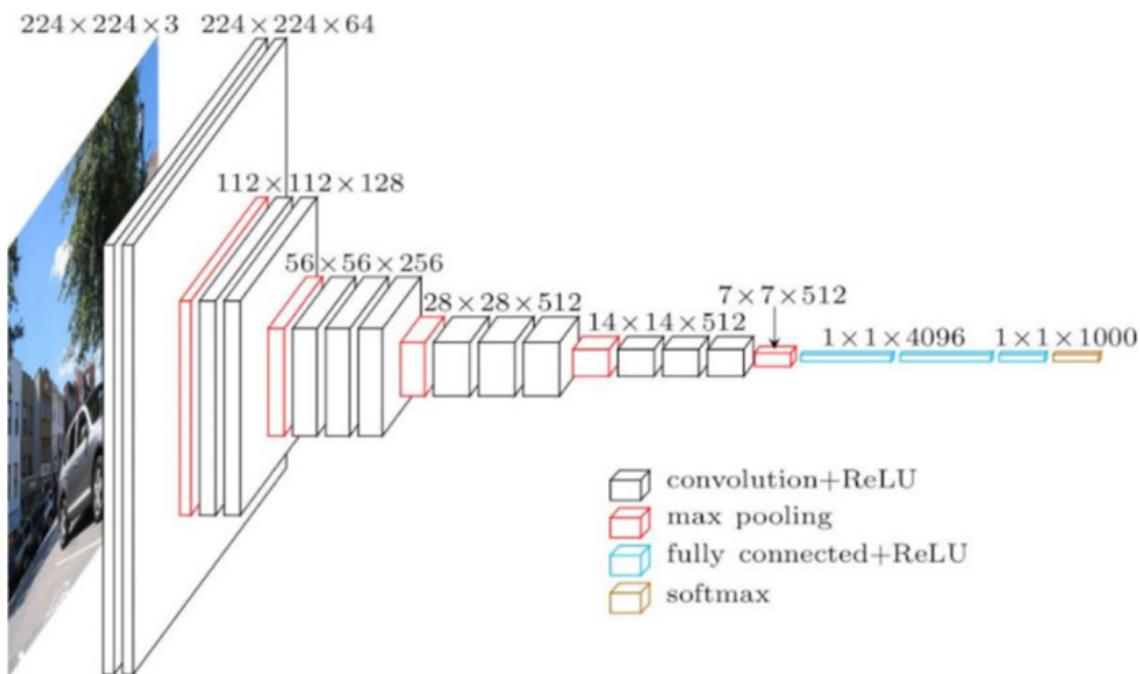


Figura 16: arquitectura de la red neuronal VGG16.

Fast R-CNN

Fast R-CNN son un tipo de redes neuronales que intentan imitar la exactitud de los modelos más profundos al tiempo que optimizan su velocidad. Fast R-CNN predice sobre propuestas



de regiones y utiliza el cálculo compartido por propuesta de región y las factorizaciones SVD truncadas para acelerar el tiempo de entrenamiento y predicción del modelo.

Este tipo de redes Fast R-CNN toma como entrada una imagen completa y un conjunto de propuestas de objetos. Seguidamente la red procesa toda la imagen con varias capas convolucionales y “max pooling” para producir un mapa de características convolucionales. A continuación, para cada propuesta de objeto, una capa de agrupación de regiones de interés extrae un vector de características de longitud fija del mapa de características. Cada vector de características se introduce en una secuencia de capas totalmente conectadas que, finalmente, se ramifican en dos capas de salida hermanas: una que produce estimaciones de probabilidad sobre K clases de objetos más una clase de “fondo” general, y otra capa que produce cuatro números de valor real para cada una de las K clases de objetos. Cada conjunto de cuatro valores codifica las posiciones refinadas de los recintos para una de las K clases. La arquitectura en la que se basa Fast R-CNN se muestra en la Figura 17.

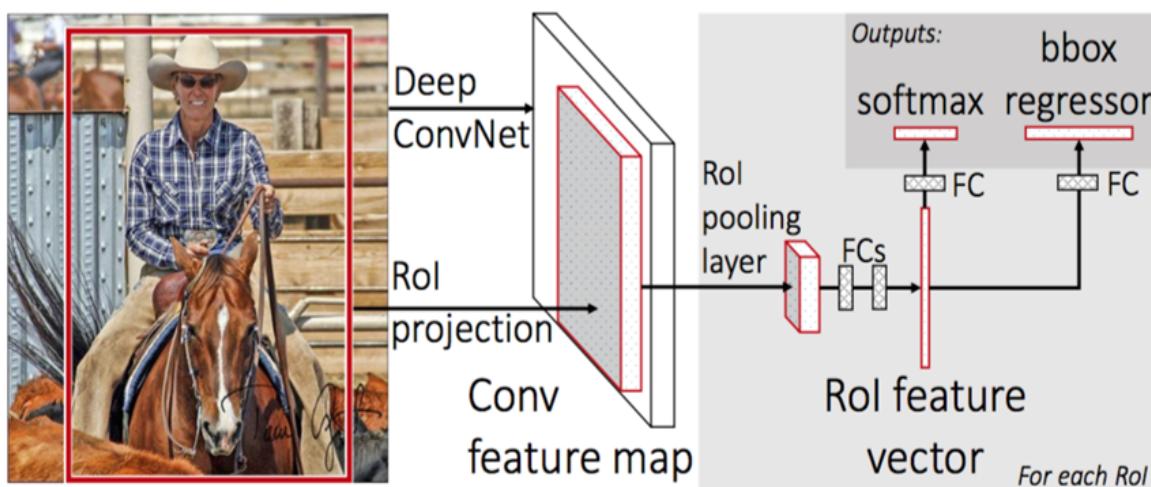


Figura 17: arquitectura de la red neuronal Fast R-CNN.

YOLO

Normalmente los sistemas convencionales de detección utilizan clasificadores o localizadores para realizar la detección y después aplican el modelo a una imagen en múltiples localizaciones y escalas, de forma que las regiones de la imagen con mayor puntuación se consideran detecciones. YOLO sin embargo sigue un enfoque diferente ya que aplica una única red neuronal a la imagen completa, la cual divide la imagen en regiones y predice los cuadros delimitadores y las probabilidades de cada región. Estos cuadros delimitadores se ponderan en función de las probabilidades previstas. Esto tiene varias



ventajas sobre los sistemas basados en clasificadores, por ejemplo al examinar toda la imagen en el momento de la prueba sus predicciones se basan en el contexto global de la imagen. Además, realiza predicciones con una sola evaluación de la red, a diferencia de sistemas como R-CNN, que requieren miles para una sola imagen. Esto lo hace mucho más rápido, más de 1000 veces más rápido que R-CNN y 100 veces más rápido que Fast R-CNN.

Pero a lo descrito anteriormente, YOLO tiene el rendimiento más pobre de todos los modelos anteriores ya que posee 12 capas, pero lo compensa con creces con su velocidad, ya que es capaz de predecir a una velocidad de 45 fotogramas por segundo. En la Figura 18 se muestra la arquitectura en la que se basa la red neuronal YOLO.

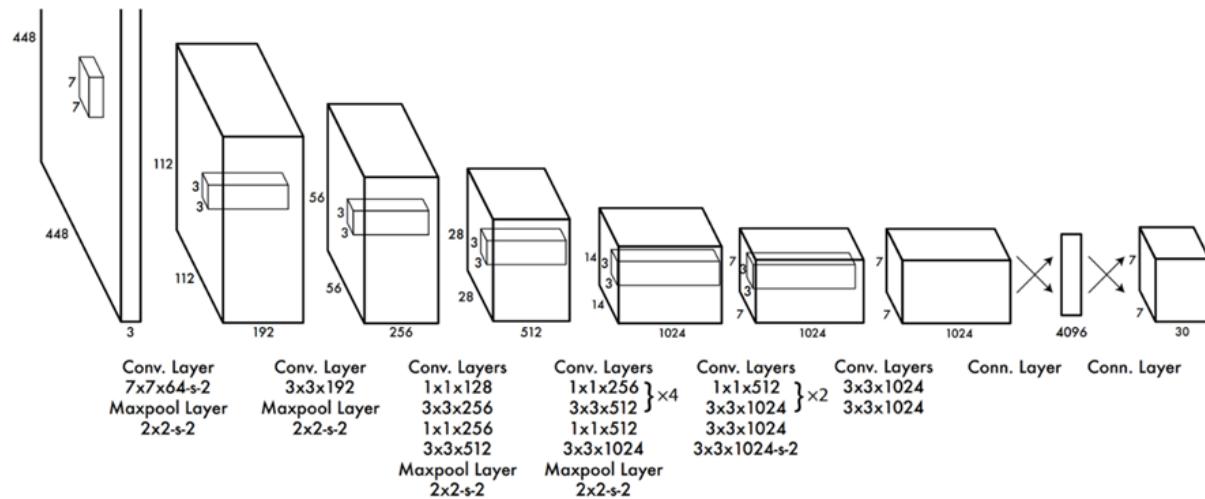


Figura 18: arquitectura del sistema YOLO.

4. Efectos sobre la sociedad

Junto con toda nueva tecnología, la sociedad está sujeta a sufrir cambios gracias a las nuevas posibilidades que ofrece esta, ya sea para mejor o peor. No obstante, los coches automáticos suponen una alteración del *status quo* bastante mayor, pues con ellos algo tan ligado al día a día sufrirá un cambio drástico, y es que ya no hará falta que las personas conduzcan sus vehículos. Esto conlleva una serie de mejoras, pero también acarrea otros problemas. En este apartado se pretende recopilar todas las formas en las que la inclusión de los coches autónomos en las carreteras puede afectar al ser humano como sociedad, así también como las leyes y el respaldo político que debe haber detrás.



4.1 Efectos sociales

Más de 1.3 millones de personas mueren anualmente en las carreteras de todo el mundo sin contar los varios millones de heridos graves. La mayoría de estos accidentes (más del 90%) son causados por errores humanos. El abuso de alcohol, el exceso de velocidad y la distracción del conductor son la causa de la gran mayoría de estos accidentes. Pero los vehículos autónomos no serán susceptibles de cometer algunos de estos errores. Se estima que los automóviles sin conductor salvarán más de un millón de vidas cada año. Esta mejora de la seguridad en la conducción tiene otras implicaciones positivas, ya que las lesiones por accidentes automovilísticos son causa de un elevado consumo de recursos sanitarios. La reducción de estos accidentes podría generar un importante ahorro y un mejor uso de los recursos sanitarios y de la atención médica.

Al igual que con todas las tecnologías muy innovadoras y que transforman profundamente algún sector en concreto, ciertos trabajos y empresas se transformarán, cambiarán o posiblemente se extinguirán. Al igual que los comercios minoristas tradicionales se están quedando en el camino frente al comercio electrónico, o los videoclubs han desaparecido a favor de los servicios de video bajo demanda, las empresas que basan sus servicios en ofrecer vehículos a conductores (o los taxistas) deben transformarse y cambiar su actividad para seguir teniendo relevancia. [20]

Un cambio es la apariencia y el diseño de los automóviles que se deben optimizar para alojar a humanos que ya no los conducirán y que dedicarán su tiempo dentro del vehículo a otras tareas como trabajar u ocio. No habrá la necesidad de ciertas partes del automóvil, como las palancas de cambio, volantes, o pedales y su ausencia dotarán de más espacio en el interior del automóvil. El permiso de conducir ya no será necesario. Los niños y los ancianos tendrán la oportunidad de viajar por sí solos, e incluso nuestra jornada laboral puede empezar en el momento de entrar al vehículo mientras nos ponemos al día con nuestros correos electrónicos mientras nos dirigimos a la oficina.

4.2 Ética

El sistema de conducción autónomo de los coches deberá contar con la capacidad de tener en cuenta la ética en la toma de decisiones, pues aunque con certeza los accidentes se reducirán gracias a los sensores que poseen, alta velocidad de procesamiento capaz de tomar decisiones en poco tiempo, y la habilidad para comunicarse con los demás vehículos logrando así una conducción responsable y segura. Sin embargo, en escenarios más dinámicos o impredecibles, como puede ser una ciudad, o en situaciones donde la física impida que el coche se detenga de forma segura ante una colisión inminente; en una situación así, es



importante que el vehículo sea capaz de razonar, evitar la mayor cantidad de daños posibles, y en última instancia decidir quién recibirá esos daños. Esta última decisión presenta consecuencias morales y éticas que aún no se han propuesto o afrontado debidamente.

Si un coche autónomo está parado en paso de peatones, y detecta con sus cámaras traseras que un vehículo está peligrosamente cerca y no está reduciendo la velocidad, parece lógico que si tiene el espacio suficiente gire y cambie de carril para evitar la colisión y así preservar la integridad del vehículo. Sin embargo, al hacerlo estará poniendo en peligro a los peatones que cruzaban la carretera al quitar de en medio la única barrera que impedía que fuesen atropellados. Si el conductor del vehículo detenido fuese una persona y decidiese apartarse, podría excusarse de las consecuencias aludiendo a lo inesperado de la situación y el estrés que hubiese generado. Sin embargo, en el caso de un coche autónomo, esta acción de apartarse y permitir que el otro vehículo atropelle a los viandantes podría ser penado en el sistema judicial, pues un fallo en su programación ha supuesto la muerte de gente inocente.

En una situación donde esté en juego la vida del conductor del vehículo autónomo y la de los ocupantes, dígase de un autobús escolar, desde un punto de vista meramente numérico es razonable argumentar que sacrificando al conductor y evitando la colisión contra el autobús es un mejor resultado que arriesgar una colisión en la que en ambas partes se produzcan víctimas; sin embargo una decisión así parece no ser acorde al sentido común de una persona promedio, y aún si el conductor del vehículo autónomo prefiriese sacrificarse voluntariamente, no es lo mismo decidirlo uno mismo a que lo haga una máquina sin previo aviso. Es también razonable pensar que un coche autónomo privado establece como prioritario la seguridad de sus dueños y en caso de accidente inevitable intenta preservar a sus ocupantes frente a otras opciones. Pero si se tratase de un vehículo público, como un coche de policía, ese criterio ya no es aplicable. ¿Es en este caso prioritario reducir los daños producidos, aún a costa de los usuarios del transporte público?

Sea cual sea la respuesta, el verdadero desafío será el de crear las expectativas correctas en el público general, pues éstas son importantes para que la aceptación de los vehículos autónomos sea efectiva. Los diseñadores de los sistemas de decisión deberán ser claros y transparentes en este tema, y sea cual sea la respuesta que hallen a los problemas éticos que se presenten, no será del agrado de todos. [21]

4.3 Leyes

Las leyes sobre vehículos autónomos en EEUU, Países Bajos, Reino Unido y Suecia están pavimentando el camino para la legislación en los demás países [22]. Sin embargo, el primer accidente con víctimas mortales en el que se vio envuelto un coche autónomo probó que aún queda mucho para lograr un mayor desarrollo. Por este motivo, los responsables políticos todavía deben conseguir una base legal que asegure la seguridad sin entrar en conflicto u obstaculizar la innovación.



La privacidad es también un problema, pues el sistema de navegación es otra fuente más a través de la que la información del usuario puede ser recolectada por la empresa sin su consentimiento o aprovechada por terceros. La legislación también debe tratar de asegurar la privacidad de los usuarios de automóviles autónomos haciendo que las empresas de estos sean responsables de asegurar una serie de normativas sobre ciberseguridad y protección de datos.

En lo que atañe a la ley española actual, las leyes de tráfico responsabilizan al conductor, sin embargo esto no debería ser así, pues en un coche con autonomía de nivel 5, como se ha visto en este documento, el pasajero humano no influye en la toma de decisiones de conducción. Por este motivo, para que la implementación plena de este tipo de vehículos sea posible, es necesario un cambio en las leyes de tráfico. Cambio que el Ministerio Público ha iniciado sugiriendo una transferencia de responsabilidad del conductor al fabricante, a menos que se pueda demostrar que el piloto automático estaba desactivado. [23]

Mientras que en España la legislación referente a esta nueva tecnología todavía es muy básica, en países como Alemania avanza más firmemente, y ya se han propuesto medidas que autorizan el uso de automóviles autónomos siempre y cuando el conductor pueda seguir tomando el control del vehículo. También se ha propuesto la implementación de cajas negras que permitan discernir las causas del accidente y mejorar los sistemas que manejan estos vehículos, y ayudar a los jueces a determinar el culpable, ya sea el conductor, la compañía fabricante del automóvil o un tercero involucrado en el accidente.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha clasificado los diferentes tipos de vehículos autónomos y se ha aprendido más sobre sus niveles de autonomía. También se han estudiado los sensores que utilizan este tipo de robots para poder obtener toda la información relevante de su entorno, y se han explicado los algoritmos y la metodología que usan para interpretar y reaccionar consecuentemente. Finalmente, se ha hablado de los cambios que debe esperar la sociedad cuando los coches autónomos se conviertan en la norma.

Para concluir, cabe destacar que como se ha visto, una autonomía de nivel 5 es un logro bastante complejo con aún un largo camino por recorrer para que estén integrados en la sociedad. Este tipo de vehículos prometen grandes beneficios y efectos no intencionados que son difíciles de predecir, y la tecnología acabará llegando eventualmente. El cambio es inevitable y no por ello es necesariamente malo. Sin embargo, se producirán grandes trastornos y aparecerán nuevos peligros, que deberán haber sido anticipados con anterioridad y evitados en la medida de lo posible.



6. Referencias

[1] Integración de vehículos autónomos.

<https://www.inser-robotica.com/news-vehiculos-autonomos-agv/>

[2] De 0 a 5: cuáles son los diferentes niveles de conducción autónoma.

<https://www.xataka.com/automovil/de-0-a-5-cuales-son-los-diferentes-niveles-de-conduccion-autonoma>

[3] Vehículos autónomos y niveles de autonomía.

<https://www.lgbarcelona.com/noticias/conduccion-autonoma-niveles/>

[4] Conducción autónoma. Los cinco niveles.

<https://www.km77.com/reportajes/varios/conduccion-autonoma-niveles>

[5] Hyundai IONIQ 5 Robotaxi: el futuro taxi autónomo, más cerca.

<https://es.motor1.com/news/531174/hyundai-ioniq5-robotaxi-autonomo/>

[6] Audi grandsphere concept.

https://www.audi.es/es/web/es/mundo-audi/marca/progress/concept-cars/audi-grandsphere.html?csref=sea:PHD:bc:A1ES0105_AL_BD_AWA_BRA_BRA_BRD_ESP_NU_SEAH_PSEAC_NU_TEAD_NU_GAD_GADW_CPC_IA_NU_NU_NU_NU_CXD_ES_NU_AL_AWA_PHD202102706109:a:Google:google.es:p~al:fn~Brand:c~Audi+concept+car:mt~p&gclid=Cj0KCQiA2sqOBhCGARIsAPuPK0gStOc0gji05KJVww27QQCAhApulY2BB-5DtGcR1wHflpjK9-yYIOlaAvOoEALw_wcB&gclsrc=aw.ds

[7] Building Self-Driving Hardware at Scale

<https://medium.com/cruise/building-self-driving-hardware-at-scale-29589d2b4a09>

[8] Waymo driver

<https://waymo.com/intl/es/waymo-driver/>

[9] Electronic Hardware Design of An Autonomous Vehicle

<https://www.ijert.org/electronic-hardware-design-of-an-autonomous-vehicle>

[10] A Hardware Platform Framework for an Intelligent Vehicle Based on a Driving Brain



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917303648>

[11] Machine Learning Algorithms in Autonomous Cars.

<https://www.visteon.com/machine-learning-algorithms-in-autonomous-cars/>

[12] Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms.

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5940562?casa_token=nl63ZyQOQicAAAAA:UHJlVrsJOcUmHpyI57lahX7064DLLRTnB49aU1AQf2EjDczqOwQMp-4AY75KbJL1TAMZjq_4A

[13] A survey of technical trend of ADAS and autonomous driving.

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6834940?casa_token=cXGWHaq-eNQAAAAB:kYblyTqYsDqNwb0ndW96B0qLOVfQ7cDWRNEz1HW7XdvkfBOalYDofdHos-8_Wx2EbUPnl0NQ

[14] Environment-Detection-and-Mapping Algorithm for Autonomous Driving in Rural or Off-Road Environment.

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6144741?casa_token=lYaPON1NawEAAAAA:gbn6b7411YDDxZS-PplftcOXuzwN24oc2M_FvjhtZuLiD0q_RDMtXuWh6ZROXzDlrHJM8D76HA

[15] Tecnologías para la localización de vehículos autónomos.

<https://ignaciogavilan.com/tecnologias-para-la-localizacion-de-vehiculos-autonomos/>

[16] VGG16 – Convolutional Network for Classification and Detection.

<https://neurohive.io/en/popular-networks/vgg16/>

[17] OverFeat: Integrated Recognition, Localization and Detection using Convolutional Networks.

<https://arxiv.org/pdf/1312.6229.pdf>

[18] Fast R-CNN

<https://arxiv.org/pdf/1504.08083.pdf>



[19] Deep Learning for LiDAR Point Clouds in Autonomous Driving: A Review.

Ying Li, Lingfei Ma, Student Member, IEEE, Zilong Zhong, Student Member, IEEE, Fei Liu, Dongpu Cao, Senior Member, IEEE, Jonathan Li, Senior Member, IEEE, and Michael A. Chapman Senior Member, IEEE.

[20] Vehículos autónomos y políticas públicas

<https://www.forbes.com.mx/vehiculos-autonomos-y-politicas-publicas/>

[21] Autonomous Driving Technical, Legal and Social Aspects, Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz, Hermann Winner

[22] Faisal, Asif, et al. "Understanding Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review on Capability, Impact, Planning and Policy." *Journal of Transport and Land Use*, vol. 12, no. 1, Journal of Transport and Land Use, 2019, pp. 45–72,

<https://www.jstor.org/stable/26911258>.

[23] Qué dice la legislación española sobre los coches autónomos: una instrucción y muchas incógnitas

<https://www.xataka.com/vehiculos/que-dice-legislacion-espanola-coches-autonomos-instruccion-muchas-incognitas>

[24] Vehículos autónomos: niveles e impacto social

<https://movilidadconectada.com/2020/07/21/vehiculos-autonomos-niveles-e-impacto-social/>