

# VEHÍCULOS AUTÓNOMOS



Carlos García Aguado

María García Gutiérrez

# **Índice**

Introducción	<b>2</b>
Hardware	<b>4</b>
Localización y mapeo	<b>7</b>
Planificación de movimiento	<b>10</b>
Identificación de objetos	<b>11</b>
Ejemplos	<b>12</b>
Bibliografía	<b>15</b>

# 1. Introducción

En los últimos años, debido a los grandes avances tecnológicos se han desarrollado nuevas ideas que permiten a las personas disfrutar de una vida más cómoda y sencilla. El sector automovilístico no se ha quedado atrás, y es que cada vez en mayor medida, se está introduciendo en los vehículos sistemas de asistencia a la conducción, que a su vez con el paso de los años se han ido perfeccionando hasta alcanzar lo que hoy en día se conoce como vehículos autónomos.

Si bien en la actualidad las leyes y normas de conducción en muchos países no permiten esta conducción completamente autónoma (aunque son varios los ejemplos de coches que la consiguen sin poner vidas en riesgo), las empresas del sector más interesadas en este campo dotan a sus nuevos modelos de una capacidad de asistencia que hace la conducción más cómoda (y más segura) para la persona que tripula el vehículo.

El rechazo que muestran los gobiernos a la conducción completamente autónoma se debe a que se percibe como algo menos seguro que la conducción habitual, y en este aspecto, a día de hoy, no les falta razón. La utopía de unas carreteras en las que los coches funcionen de forma independiente sin necesidad de una persona al mando requiere que el 100% de los vehículos funcionen de esta manera. La mezcla entre vehículos autónomos y vehículos convencionales es lo que hace a este sistema inseguro. Esto es debido a que los sistemas de navegación que incorporan los vehículos autónomos son completamente seguros en un entorno perfecto en el que todos los coches respetan las normas de circulación, sin embargo en la vida real no es así. Los humanos cometemos errores que obligarían a los vehículos autónomos a tomar decisiones arriesgadas, y si bien están capacitados para ello, estas decisiones podrían llegar a poner en peligro alguna vida, siendo decisiones en determinados casos que impliquen salir de la carretera para evitar un choque fatal, o decisiones que impliquen riesgo para las personas en el interior del vehículo con tal de evitar daños a personas en el exterior. Por esta razón la conducción 100% autónoma aún no ha llegado a nuestras carreteras, sin embargo como ya se comentaba anteriormente, los vehículos sí que incluyen muchos sistemas semi-autónomos que facilitan la conducción y la hacen más segura.

A la hora de diferenciar el nivel de autonomía que presentan los vehículos nos encontramos con 6 tipos (desde un nivel cero, a nivel cinco). A continuación se detallan las características principales de cada uno de estos niveles de automatización:

**Nivel 0:** representa a los vehículos más convencionales, sin ningún tipo de automatización, aunque sí que pueden incluir algunos sensores que aporten información del entorno. El conductor ha de realizar todas las maniobras necesarias para el pilotaje.

**Nivel 1:** incluye a los vehículos con sistemas de conducción asistida, como bien puede ser un control de crucero para la velocidad, un asistente de estacionamiento o un frenado de emergencia automático.

**Nivel 2:** en este nivel los vehículos son capaces de tomar control de sí mismos para tareas “sencillas” como mantenerse dentro de un carril a la velocidad permitida por ese tramo y manteniendo distancias de seguridad, sin embargo requieren la presencia de un conductor que esté alerta para retomar la conducción si fuese necesario.

**Nivel 3:** los coches empiezan a ser capaces de tomar decisiones, como adelantamientos o desvíos adquiriendo la información necesaria de su entorno a través de sensores equipados, no obstante se sigue requiriendo la presencia de un conductor.

**Nivel 4:** ya no es necesaria la presencia de un conductor, los vehículos son capaces de tomar todas las decisiones necesarias para el pilotaje de forma segura, llegando a detenerse en un lugar sin riesgo si las condiciones del entorno son especialmente desfavorables.

**Nivel 5:** representan la automatización completa, en la que además de no ser necesaria la presencia de un conductor, ni siquiera incorporan volante ni pedales ni ningún elemento necesario para la conducción humana.

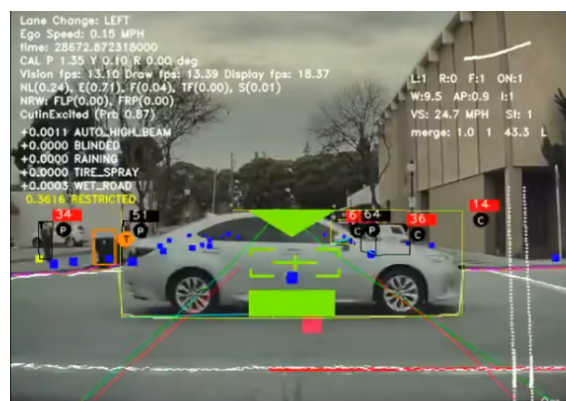
## 2. Hardware

Para el correcto funcionamiento de los sistemas que incorporan los vehículos autónomos es necesario recopilar información del entorno de los mismos, información que en mayor porcentaje se obtiene mediante sensores que el propio vehículo incorpora, aunque también se puede obtener información crítica vía Internet o GPS.

En cuanto a sensores, se pueden clasificar en dos tipos los que los automóviles incorporan, activos y pasivos. Los sensores activos (por ejemplo un sensor de ultrasonidos) emiten algún tipo de señal al exterior, como una onda, mientras que los pasivos obtienen información del entorno sin necesidad de emitir nada (como bien puede tratarse de una cámara).

A continuación se listan los diferentes sistemas de sensorización más comunes que incorporan los vehículos autónomos:

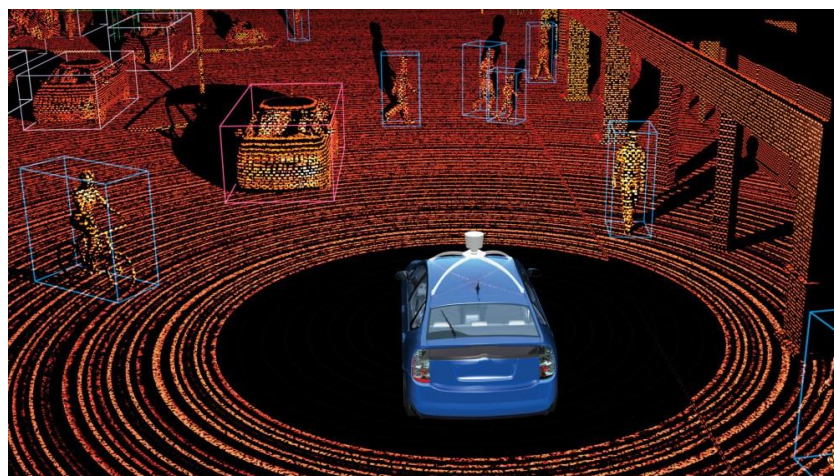
**Cámaras:** son un componente esencial si se desea una conducción completamente autónoma. Los vehículos llevan una o varias cámaras encargadas de tomar imágenes en 360 grados del entorno del automóvil, que posteriormente serán procesadas para extraer información de las mismas, como bien puede ser el reconocimiento de las marcas viales y las señales de tráfico, y la identificación de objetos como personas, otros vehículos u obstáculos en la vía. Un inconveniente de este tipo de sensorización es que requiere una buena visibilidad (en condiciones de baja visibilidad se reducen mucho sus capacidades), y que es necesaria una gran capacidad de computación debido a la cantidad de imágenes que se recopilan y a la velocidad a la que se deben procesar.



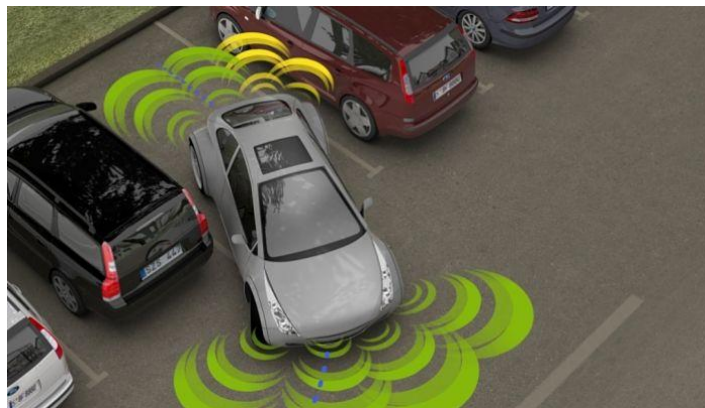
**Radar:** se utilizan para la detección y determinación precisa de la distancia a la que se encuentra un objeto. Principalmente se utilizan para detectar objetos metálicos, como otros coches que circulan por la carretera o guardarraíles en los laterales de la misma. Son muy precisos a la hora de determinar las distancias a las que se encuentran los objetos detectados.



**LiDAR:** este tipo de sensores son imprescindibles en un vehículo autónomo. Emiten rayos de luz no visible que rebotan contra los objetos alrededor del coche y vuelven a un fotorreceptor que incorpora el sistema. De esta manera se puede elaborar un mapa 3D a tiempo real del entorno del vehículo, detectando todo tipo de objeto (no transparente) que alcance el LiDAR.



**Sensores de ultrasonidos:** funcionan de manera similar a un LiDAR pero a mucho menor alcance. En lugar de emitir rayos de luz, un sensor de ultrasonidos emite ondas de sonido a una frecuencia determinada que rebotan contra objetos cercanos y se vuelven a recibir en el sensor. Este tipo de sensores se utiliza en gran cantidad de vehículos con un nivel bajo de automatización, ya que son muy útiles a la hora de detectar objetos próximos al vehículo, siendo así de gran ayuda, por ejemplo, en los asistentes de aparcamiento.



**Sistemas globales de navegación por satélite:** se utilizan principalmente para conocer la posición del vehículo en el planeta. Un ejemplo muy utilizado es GPS, aunque también se utilizan Galileo (Europa), BAIDU (China) o GLONASS (Rusia).

Además de todos estos tipos de sensores, también se utilizan sensores internos del vehículo cuya función es determinar aspectos propios del movimiento, como sensores de rotación en el eje del automóvil, u odometría en las ruedas del coche.



### 3. Localización y mapeo

Uno de los temas centrales de investigación en robótica es el de la localización. Mucha gente piensa que los sistemas de navegación basados en GPS solucionarían el problema. Todos hemos usado esta tecnología alguna vez y parece que funciona estupendamente. Sin embargo, su precisión para localización no es tan buena, estando el 95% del tiempo por debajo de los 2 metros. Esos dos metros son la diferencia entre ir por el carril y provocar un accidente[1]. El GPS está bien como complemento de sensores y otras tecnologías que, igual que los humanos percibimos el entorno, sean capaces de “ver”.

Además, un vehículo autónomo no se trata solo de una tecnología sino de una combinación compleja y sofisticada de muchas tecnologías y algoritmos, de diversas naturalezas, que de forma coordinada producen ese alarde tecnológico que es el coche auto dirigido[2].

Algunas de las tecnologías más usadas para la localización son:

- **GNSS ('Global Navigation Satellite System')**: localización basada en uso de satélites, siendo GPS el caso más popular, pero existiendo otros como Galileo o Baidu.
- **SBAS ('Satellite Based Augmentation Systems')**: sistemas que complementan a los GNSS para reducir el efecto de los errores.
- **RTK ('Real Time Kinematic and differential GNSS')**: se basa en una instalación de receptores GNSS en instalaciones base de localización conocida, para calcular el error entre la información del GNSS y la base, e informar al vehículo.
- **PPP ('Precise Point Positioning')**: surge como alternativa a RTK ya que esta resulta algo cara.
- **INS ('Inertial Navigation Systems')**: incorpora IMUs ('Inertial Measurement Units'), proporcionan información de aceleración lineal y angular mediante acelerómetros y giroscopios.
- **LiDAR ('Light Detection And Ranging')**: genera mapas 3D emitiendo luz láser intermitente y midiendo la luz reflejada mediante un sensor.
- **HD Maps ('High Definition Maps')**: mapas de alta definición para que el coche autónomo conozca la información de la ruta de forma que sólo tenga que estar pendiente de las variaciones.
- **Odometría visual**: estima el movimiento del vehículo a partir de la información de las cámaras.



- **Odometría de las ruedas y ‘Dead reckoning’:** la odometría de las ruedas deduce el movimiento mediante sensores situados en las ruedas del vehículo.

Sin embargo, la localización se afronta tras haber realizado un mapa del entorno. Esto lleva al problema del “huevo y la gallina” ya que para trazar un mapa se debe conocer la orientación y posición de él, sin embargo, esa orientación y posición se consigue gracias a un mapa preexistente.

Una de las tecnologías más conocidas de localización y mapeo es SLAM, supera el reto creando el mapa mediante datos GPS. Esta tecnología es usada por ejemplo en los vehículos autónomos de Google. Muchas veces lo que se hace es salir a recoger datos controlando un vehículo manualmente, para después procesar esos datos y crear un mapa. Luego ese mapa se va perfeccionando a medida que el dispositivo autónomo se desplaza por el entorno.

Un artículo de la universidad de Stanford, muestra bastante bien como crean los mapas para localizar un vehículo mediante SLAM y LIDAR [3]. El sensor LIDAR crea una nube de puntos 3D y se le incorpora información de un láser infrarrojo, que monitoriza el eco de los rayos láser y así el sensor puede determinar el nivel de grises de cada punto. Se consiguen imágenes fotorrealistas como la siguiente:



Figura 1. Mapa 3D con información de reflectancia.

Se vio que para este tipo de sensores quedarse con todo el mapa 3d no era útil, por lo que se extraía solamente el plano horizontal de tierra.

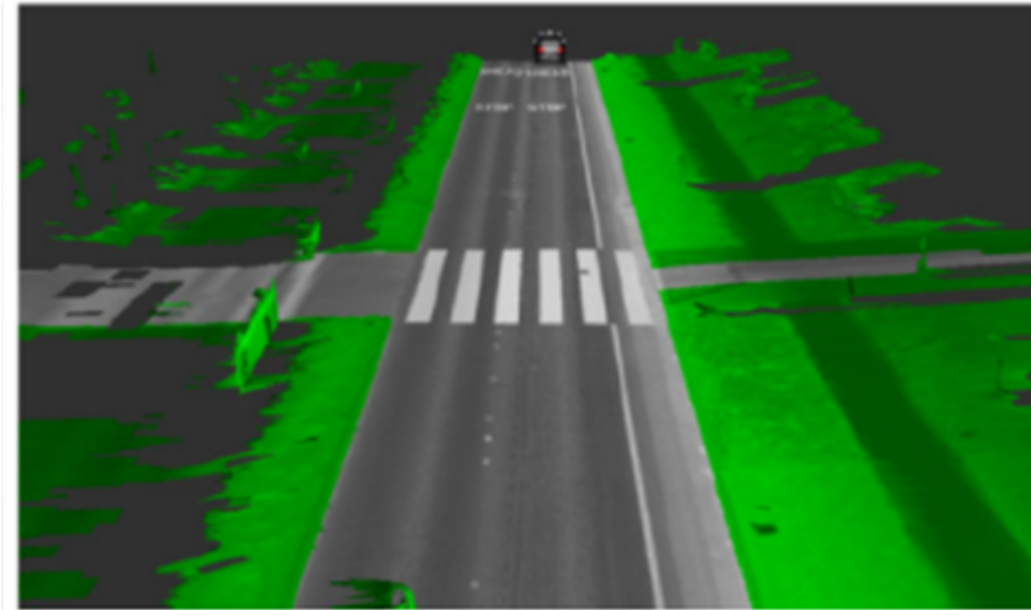


Figura 2. Mapa 3D detectando el plano de tierra.

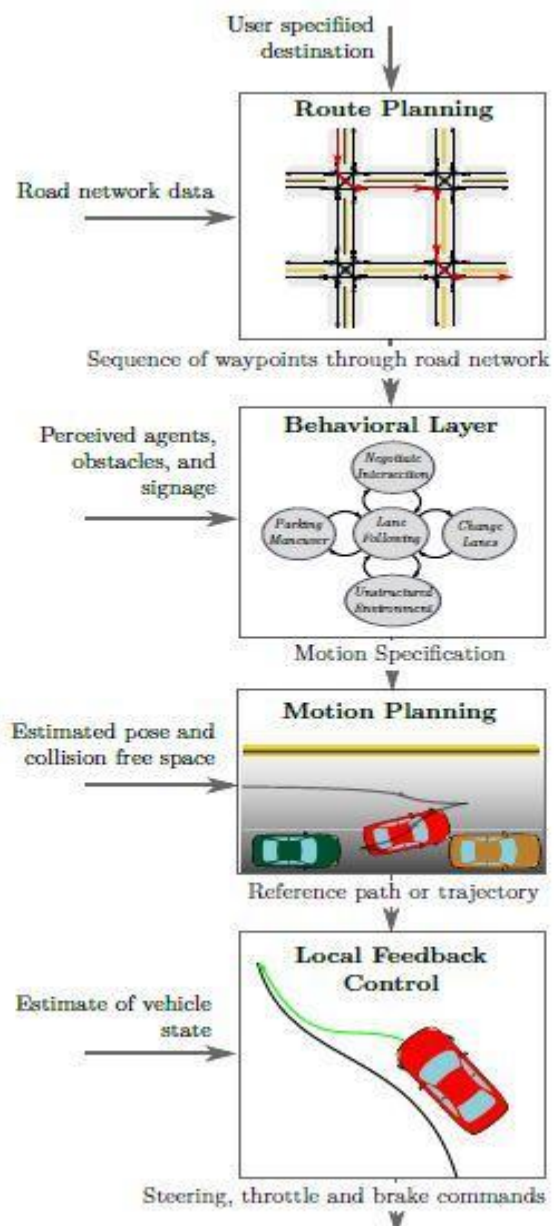
Una vez procesados todos los datos y construido el mapa del suelo, gracias a las distintas medidas del LIDAR, se carga a bordo del vehículo y se procede a localizar. Para ello, se emplea un filtro de partículas que compara las medidas del LIDAR con la predicción del suelo. La posición del coche se estima con cientos de hipótesis y se quedan con las que más se acerque a la realidad.

El equipo de Stanford demostró que el filtro era muy robusto al ruido y la estimación era muy buena. Incluso sin un GPS, solo con el LIDAR, era capaz de estimar la posición y velocidad del vehículo (no quita que no se deba prescindir del GPS).

## 4. Planificación de movimiento

Las decisiones que llevan a cabo los vehículos autónomos para la planificación y control del movimiento, se suelen estructurar jerárquicamente. No hay una planificación fija, sino que existen diferentes métodos para resolver estos problemas. Estas decisiones se centran sobre todo en los sistemas de conducción autónomos de nivel 3 y superiores. El sistema típico de toma de decisiones de un vehículo autónomo se divide en las siguientes partes[4]:

1. **Planificación de la ruta:** el destino al que se quiere que el vehículo vaya, se pasa a un planificador de rutas y este genera la mejor ruta gracias a la comparación de diferentes algoritmos que devuelven la mejor ruta en una red continental en milisegundos.
2. **Decisión de comportamiento:** una vez encontrada la ruta, el vehículo debe poder navegar e interactuar con otros participantes del tráfico de acuerdo con las reglas de tránsito. Esta capa de comportamiento se encarga de seleccionar los comportamientos de conducción según las condiciones de la carretera y las señales de tráfico. Por ejemplo, cuando un vehículo llega a una intersección, la capa de comportamiento ordenará que se detenga, observará el entorno (otros vehículos, peatones...) y cuando sea su turno seguirá su ruta. Otras decisiones podrían ser cambiar de carril o girar.
3. **Planificación de movimiento:** cuando la capa anterior decide el comportamiento a realizar, el planificador de movimiento debe seleccionar la trayectoria que cumpla con las limitaciones de la dinámica del vehículo, ser cómoda para los pasajeros y evitar colisiones con obstáculos que se detectan con los sensores. Este comportamiento puede ser rastreado por un controlador de retroalimentación de bajo nivel.



- 4. Control de vehículos:** el controlador de retroalimentación selecciona la entrada del conductor apropiada para realizar el movimiento planificado y corregir errores.

## 5. Identificación de objetos

Una de las tareas esenciales a la hora de automatizar el pilotaje de un vehículo es el reconocimiento e identificación de distintos objetos. Para garantizar la seguridad vial y del entorno de circulación, los vehículos autónomos deben ser capaces de identificar objetos de importancia crítica como pueden ser personas, otros coches o elementos señalizadores y reguladores del tráfico.

Para ello se utilizan los diferentes sensores que incorporan este tipo de vehículos, cobrando una gran relevancia las cámaras de visión. Estas cámaras captan imágenes en tiempo real, de las que posteriormente se extraerá la información de los objetos que la componen. Para ello se suelen utilizar redes neuronales que realizan una previa segmentación, entrenadas con una gran cantidad de ejemplos, de forma que en el momento de recibir nuevas imágenes proporcionadas por las cámaras del vehículo, son capaces de reconocer e identificar los objetos con mayor relevancia de las mismas. En concreto, la empresa “Tesla”, pionera en el diseño y desarrollo de vehículos autónomos, utiliza para la segmentación y reconocimiento de objetos, redes neuronales que implican 48 redes con un entrenamiento de más de 70.000 horas de GPU.



Una vez reconocidos dichos objetos, se clasifican mediante etiquetas que los diferencian, como bien pueden ser “persona”, “coche”, “señal”, o “semáforo”.

Tras obtener la información de los objetos que aparecen en la escena, el vehículo actuará en consecuencia, efectuando acciones de emergencia si fuera necesario para garantizar la seguridad vial.

## 6. Ejemplos

A continuación se van a mostrar algunos ejemplos de coches autónomos que corresponden con los niveles de mayor autonomía. Empezando por el nivel 3, ya que a partir de este nivel comienzan a usar sensores LIDAR para “observar” qué ocurre a su alrededor. Dos vehículos de este nivel son el Tesla Model S y el Audi A8. Ambos coches están ya disponibles en Estados Unidos y China[10].

- **Audi A8:** se presentó en 2017 como el primer sistema del mundo que permite una conducción automatizada condicionada SAE nivel 3.



- **Tesla Model S [7]:** aunque todos los coches Tesla vienen de serie con un hardware avanzado capaz de ofrecer las funcionalidades de piloto automático y de conducción autónoma total a través de actualizaciones de software, no todos sus coches pertenecen al mismo nivel. Este coche pertenece al nivel 3 pero también existe una variante de este modelo perteneciente al nivel 4.



Los siguientes ejemplos pertenecen al nivel 4, que como se ha comentado anteriormente se conduce sin la intervención de un conductor. A este nivel pertenecen la mayoría de los coches autónomos de los que hemos oído hablar:

- **Taxi autónomo de la empresa nuTonomy [5]:** la empresa estadounidense nuTonomy lanzó en 2016 el primer taxi autónomo del mundo en Singapur.



- **Waymo [6]:** Es una empresa derivada de un proyecto de Google para la conducción autónoma. Comenzó probando furgonetas autónomas en octubre de 2017 y desde 2020, ofrece servicios de robotaxi para el público general en la ciudad estadounidense de Phoenix.





El Audi Aicon es un ejemplo de coche conceptual de nivel 5, que solo es posible mediante tecnología 5G. Aunque se confirmó que saldría en 2021, este coche sigue siendo sólo un prototipo.





## 7. Bibliografía

- [1] [¿Qué son la tecnología SLAM y los coches SLAM? | Enredandote.com](#)
- [2] [Tecnologías para la localización de vehículos autónomos | Ignacio G.R. Gavilán \(ignaciogavilan.com\)](#)
- [3] [p16.pdf \(roboticsproceedings.org\)](#)
- [4] [Estudio de la tecnología de control y planificación del movimiento para vehículos autónomos en vías urbanas \(1\) - programador clic \(programmerclick.com\)](#)
- [5] [9547734.pdf \(belegger.nl\)](#)
- [6] [Waymo – Waymo](#)
- [7] [Piloto automático | Tesla](#)
- [8] <https://levelfivesupplies.com/es/automoviles-autonomos-101-que-sensores-se-utilizan-en-los-vehiculos-autonomos/> [Vehículos autónomos: innovaciones, niveles y características \(blogthinkbig.com\)](#)
- [9] [https://www.tesla.com/es\\_ES/AI](https://www.tesla.com/es_ES/AI)
- [10] [Vehículos autónomos: innovaciones, niveles y características \(blogthinkbig.com\)](#)