

Universidad de Alicante

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

# VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

*Ingeniería robótica*

*Robots móviles*

Raúl Calatayud Ferre

Nuria Díaz Rey

Carlos E. Fernández García

---

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Prestaciones del Tesla Model 3</b>	<b>4</b>
<b>3. Clasificación</b>	<b>5</b>
<b>4. Sensores</b>	<b>8</b>
<b>5. Algoritmos</b>	<b>11</b>
5.1. Reconocimiento . . . . .	11
5.2. Navegación . . . . .	13
5.3. Decisiones Morales . . . . .	15
<b>6. AutoPilot</b>	<b>16</b>
<b>7. AutoGiro</b>	<b>17</b>
<b>8. Smart Summon</b>	<b>18</b>
<b>9. Legislación</b>	<b>19</b>
<b>10. Conclusión</b>	<b>21</b>
<b>11. Vídeo</b>	<b>21</b>

## Índice de figuras

1.	Niveles de conducción autónoma [3] . . . . .	6
2.	Sensores que incorpora el Tesla Model 3 [4] . . . . .	9
3.	Alcance de los sensores del Tesla Model 3 [5] . . . . .	11

## 1. Introducción

La necesidad de aumentar la autonomía en las aplicaciones robóticas ha motivado la creación y desarrollo de robots móviles que no necesiten de un operador para funcionar. La autonomía de estos robots se basa principalmente en un sistema de navegación inteligente que incluye diversas tareas, tales como: planificación, percepción y control.

La planificación en los robots móviles consiste generalmente en establecer la ruta o trayectoria óptima hasta un objetivo, al que se debe llegar evitando cualquier colisión con los obstáculos que se encuentren entre la posición actual y la final.

El sistema de percepción tiene un triple objetivo: permitir una navegación segura mediante la detección y localización de obstáculos y situaciones peligrosas en general, y al mismo tiempo modelar el entorno a medida que avanza, construyendo un mapa en el que localizar la posición precisa del vehículo.

Por último, la aplicación del control permite tomar decisiones de acuerdo a la información contenida en una base de conocimientos o la percibida por los sistemas de percepción.

Este trabajo va a estar orientado a los vehículos autónomos de la famosa compañía Tesla. Estos vehículos a día de hoy son punteros en el campo de la navegación autónoma y suponen el futuro de la conducción, ya que tienen el

hardware y software necesario para tomar sus propias decisiones en muchas circunstancias y situaciones.

A continuación se van indicar las prestaciones de los vehículos autónomos Tesla, en concreto, se va a hablar del modelo Model 3 y se va a comparar con el Model S, con el objetivo de mostrar una visión general de las características de estos coches autónomos.

## 2. Prestaciones del Tesla Model 3

El Tesla Model 3 es el tercer integrante de la gama de vehículos 100 % eléctricos de Tesla Motors. Este nuevo modelo nace con vocación de vehículo asequible dentro de la familia Tesla, por lo que desde que salió al mercado ha acumulado un gran número de ventas.

Para hablar de las prestaciones de este modelo, la propia compañía comparó las prestaciones de sus dos vehículos, el Tesla Model S y el Model 3, asegurando que los niveles de seguridad eran iguales, pero que este último modelo no se trataba del más avanzado de sus vehículos.

La autonomía del Tesla Model 3 se sitúa en 344 kilómetros, 200 kilómetros por debajo de su hermano mayor, el Model S, que cuenta con 568 kilómetros de autonomía. Por otro lado, una de las firmas de Tesla es la gran aceleración que logran sus vehículos con los motores eléctricos, al disponer estos de par instantáneo. El Tesla Model S requiere tan solo de 2,3 segundos para alcanzar los 100 km/h, por otro lado, el Tesla Model 3 requiere de 5,6 segundos para

alcanzar la misma velocidad.

Por último, hay que decir que el Tesla Model 3 se ha calificado como el vehículo más seguro de su segmento, tras obtener la calificación máxima en los test estadounidenses, europeos y asiáticos.

### **3. Clasificación**

El nivel de autonomía de un vehículo autónomo varía en función de la cantidad de sensores y funciones que el coche es capaz de realizar por su cuenta, y aunque se pueden agrupar de muchas formas, la Asociación de Ingenieros Automotrices realizó una clasificación de los vehículos inteligentes en 6 niveles [2] en función de su capacidad de autonomía. Esta división empieza en el primer nivel con un vehículo que no cuenta con prácticamente ningún sistema inteligente, y finaliza en uno completamente autónomo y funcional sin necesidad de la supervisión de un usuario.

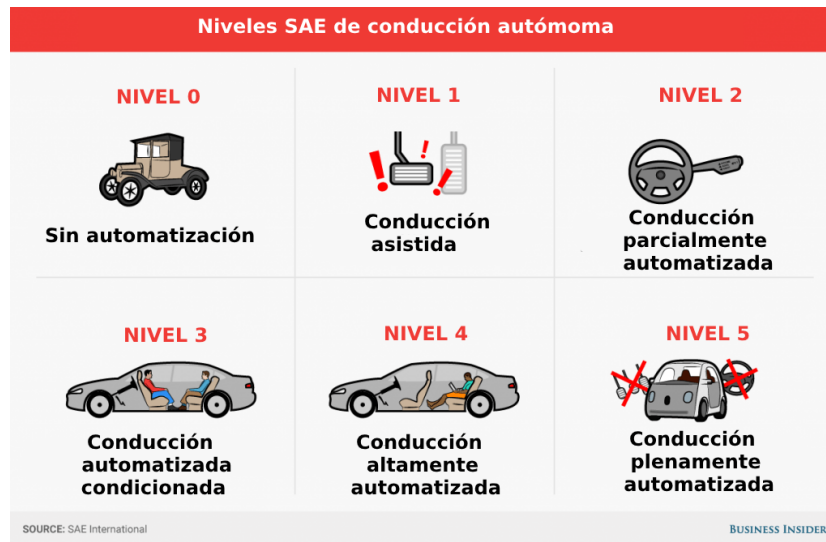


Figura 1: Niveles de conducción autónoma [3]

- **Nivel 0** - En este nivel el vehículo no tiene ningún dispositivo que pueda ser considerado como apto para dotar de inteligencia al vehículo. Los únicos que podrían ser aceptados son los que emiten algún tipo de advertencia para fallos del sistema, tales como el indicador de cambio de aceite o el de falta de combustible o batería. Por tanto, el conductor humano es responsable de la seguridad vial del vehículo así como de realizar todas las acciones, sin ningún tipo de asistencia y sin poder relegar carga en ningún sistema inteligente.
- **Nivel 1** - Estos vehículos pueden tener, además de los dispositivos aceptados en el nivel 0, un sistema de navegación de crucero que auto-regule la velocidad del automóvil de forma longitudinal o lateral, pero no los dos a la vez. Este nivel también puede disponer de sistemas de detección y de permanencia en el carril en el caso de los vehículos por

carretera.

- **Nivel 2** - En este nivel, el vehículo ya se puede considerar semi-autónomo ya que dispone de una mayor autonomía, respaldándose en una gran cantidad de sensores y sistemas que lo convierten en inteligente. No obstante, aún es necesario un usuario al volante que debe estar alerta en todo momento por si se realiza una toma de decisión errónea o se produce una mala lectura de los sensores para tomar el control total del aparato en caso de ser necesario. Aunque en el nivel 2 el control de velocidad ya es absoluto, tanto longitudinal como lateralmente, el vehículo aún no dispone de detección y respuesta ante objetos u obstáculos.
- **Nivel 3** - Estos vehículos se consideran completamente autónomos e inteligentes dentro de entornos controlados, como podría ser una autopista para un automóvil. A pesar de que aún es necesario un usuario al volante que debe seguir alerta, la probabilidad de fallo es mínima y el vehículo debería de poder funcionar sin supervisión, ya que automatiza los procesos relacionados con la velocidad, la dirección y la detección y respuesta ante objetos u obstáculos.
- **Nivel 4** - En este caso, el vehículo puede funcionar de forma completamente autónoma sin ningún tipo de intervención por parte del conductor dentro de áreas controladas en las que disponga de toda la información necesaria de su entorno para conducir de forma autónoma, tales como zonas urbanas. Por ejemplo, un vehículo pensado para la ciudad no sería capaz de funcionar de manera inteligente en el campo donde la señalización es menos clara, ya que sus algoritmos no estarían



listos para realizar las decisiones apropiadas para completar su función. En este nivel el vehículo puede conducir de forma completamente autónoma y reaccionar ante cualquier obstáculo y/o problemas que surja en la carretera por muy imprevisto que sea y además tiene bastante respaldo como para superar cualquier error de funcionamiento en uno de sus sistemas inteligentes y seguir circulando.

- **Nivel 5** - Este nivel representa la completa autonomía del vehículo, puede entender cualquier situación del entorno, tanto conocido como desconocido, sin ningún tipo de supervisión y de forma completamente segura a la hora de completar su tarea. Por tanto, el usuario solo deberá marcar el destino y el coche circulará de forma completamente autónoma, correcta y segura todo el trayecto sin que el pasajero tenga que estar al tanto ni usar los sistemas de control manual.

## 4. Sensores

Los autos Tesla vienen de fábrica con un avanzado hardware que puede proporcionar una conducción autónoma total. El sistema se ha diseñado para realizar viajes de corta y larga distancia sin necesitar ninguna acción por parte del conductor. Por otro lado, estos vehículos incorporan principalmente los siguientes sensores:

- **Triple cámara frontal:** cada cámara dispone de diferentes características para diferentes situaciones. La primera cámara, la cual se emplea para propósitos generales, tiene una apertura media y un alcance de 150 metros. La segunda cámara se emplea en el reconocimien-

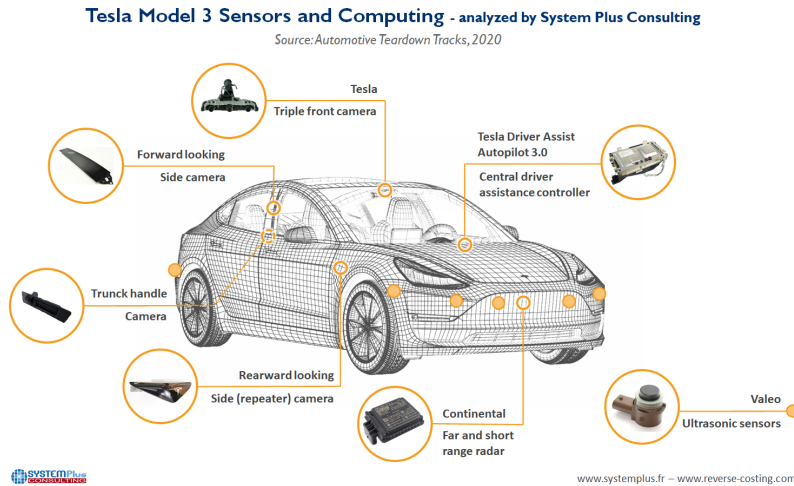


Figura 2: Sensores que incorpora el Tesla Model 3 [4]

to de objetos urbanos dado que tiene una lente de ojo de pez, lo que le proporciona una visión amplia con un rango de  $120^\circ$ . La tercera se trata de una cámara de largo alcance (250 metros) con la que se realiza el reconocimiento de objetos a grandes velocidades.

- **Sensores ultrasónicos:** tiene un total de 12 sensores ultrasónicos, 6 en la parte frontal y 6 en la parte trasera que cuentan con un alcance de 8 metros. Debido a su corto alcance, se emplean principalmente en las tareas de estacionamiento.
- **Radar frontal:** consiste en un radar de corto y largo alcance, con el que se pueden detectar obstáculos a 160 metros, incluso con condiciones meteorológicas adversas.
- **Cámaras laterales:** son un total de 4, situadas 2 a cada lado. En

cada par de cámaras, una está orientada hacia adelante y otra hacia atrás. Disponen de un campo de visión de  $90^\circ$  y un alcance máximo de 60 metros. Estas cámaras se emplean principalmente para detectar objetos en los laterales como pueden ser otros coches.

- **Cámara maletero:** esta cámara se encuentra en la parte trasera apuntando hacia atrás para poder detectar lo que sucede tras el coche. Tiene un alcance de 50 metros. Esta cámara se emplea principalmente durante el aparcamiento y la marcha atrás.

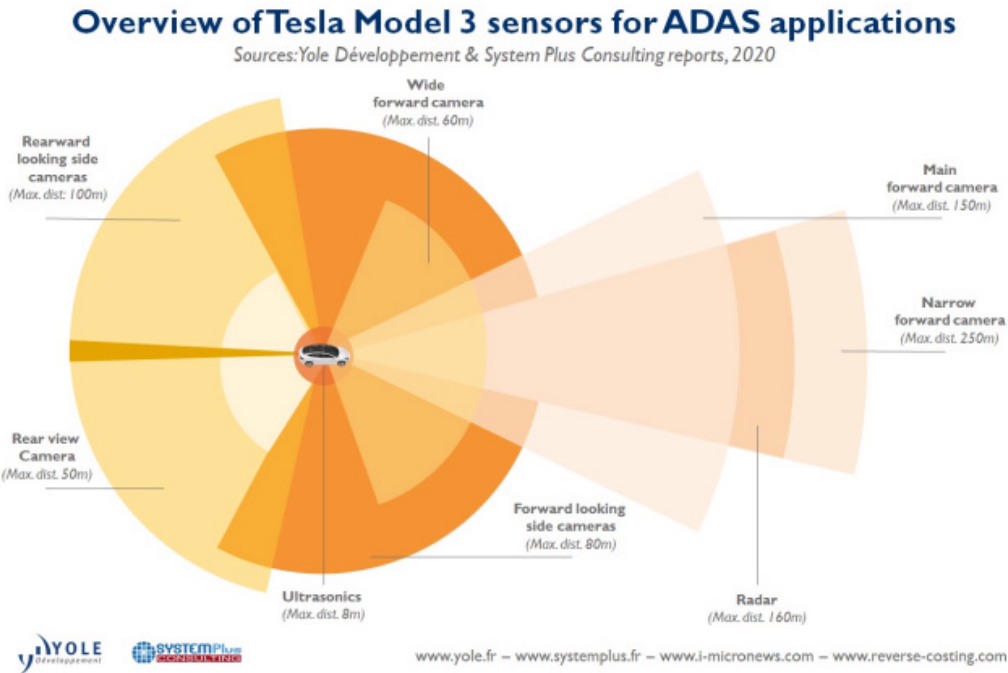


Figura 3: Alcance de los sensores del Tesla Model 3 [5]

Como se puede apreciar en la Figura 3, los automóviles Tesla cuentan con un campo de visión de  $360^\circ$ , lo que les permite tener un conocimiento elevado del entorno que les rodea.

## 5. Algoritmos

### 5.1. Reconocimiento

Para la detección y reconocimiento de su entorno, los desarrolladores de Tesla han creado y entrenado redes neuronales que permiten la autonomía del vehículo. Estas redes han sido usadas desde la primera versión de Autopilot

que salió a la luz y en ningún momento se ha parado de mejorar su base de datos o sus algoritmos.

Actualmente, Tesla fabrica sus propios chips para desarrollar redes neuronales, ya que como afirman, ningún dispositivo hasta ahora había sido especialmente diseñado para entrenar redes, refiriéndose a las GPUs y CPUs actuales. Por tanto, el último chip que fabricó esta compañía, aseguran que es 21 veces mas eficiente entrenando redes neuronales que el mejor chip hasta la fecha, cosa que convierte a Tesla en una empresa puntera en el cada vez más conocido campo del "deep-learning".

Hay que tener en cuenta la complicación que supone crear una red neuronal para la conducción autónoma, ya que debe ser capaz de detectar cualquier obstáculo, inconveniente o distracción en la carretera. Debe estar preparado literalmente para cualquier cosa, para que el sistema de decisiones escoja la mejor solución para el problema que se le plantea.

Por ejemplo, en el caso de un automóvil accidentado en medio de la carretera, el sistema debe ser capaz de reconocerlo en cualquier posición, ya esté boca-abajo, de lado, partido por la mitad... O un ejemplo mucho más improbable, una avioneta en mitad de la carretera tras realizar un aterrizaje de emergencia en una autovía.

Por todo esto, la base de datos de la que debe disponer la red neuronal debe ser inmensa y no debe parar de crecer en ningún momento. No obstante, la compañía se encarga de mejorar este conjunto de entrenamiento añadiendo

datos de múltiples fuentes, como cámaras en los vehículos, imágenes post-accidentes, escenarios simulados a propósito para poder utilizar estos datos en el entrenamiento...

No obstante, como el dominio de posibles escenarios es tan grande, aunque está mucho mejor preparado que su primera versión y no detiene su mejora en ningún momento, el sistema de detección está muy lejos de ser perfecto, y por tanto de que pueda utilizarse para crear un automóvil completamente autónomo.

Actualmente, la última versión del sistema Autopilot de Tesla es capaz de detectar gran variedad de elementos de la vía, fuera de posibles accidentes u obstáculos. Estos pueden ser señales de tráfico, medidores de la velocidad de otros vehículos, el clima actual, el estado de la carretera... Detecciones imprescindibles para que el coche pueda actuar por su cuenta y que el sistema de detección de esta compañía logre reconocer sin problema.

## 5.2. Navegación

La navegación del sistema autónomo prácticamente basa sus decisiones en la detección que realizan los sensores de su entorno, tanto las cámaras de visión, como los ultrasónicos, los radares... Que le proporcionan toda la información necesaria para que la solución calculada por el sistema de control sea la óptima.

El sistema Autopilot es capaz de tomar decisiones tales como cuándo cambiar de carril, la velocidad a la que debe circular o si debe o no encender las

luces, etc. No obstante, actualmente solo está diseñado para viajar por autovía principal, es decir, autovías en las que los vehículos entren por rampas de salida y salgan por rampas de entrada.

Durante estos trayectos, el automóvil es capaz de realizar acciones como prepararse para tomar una rampa de salida, cambios de carril, adelantamientos, optimizar la velocidad para no colocarse detrás de vehículos lentos, etc. No obstante, para realizar un cambio de carril y con el fin de aumentar la seguridad, por defecto el sistema pide confirmación al usuario antes de realizar el movimiento. De esta forma, si el conductor detectase algún problema que el sistema de detección hubiera pasado por alto, puede cancelar el movimiento antes de que se inicie.

Por otro lado, la navegación autónoma puede ser activada y desactivada en cualquier momento de la conducción por decisión del usuario. Cuando el sistema está activo, el vehículo le mostrará toda la información posible al usuario mediante la interfaz táctil del coche, tanto la ruta, cambios de carriles, velocidad, etc. Todo esto para que el usuario pueda decidir mejor si desea tomar el control en cualquier momento.

En todo momento, la navegación autónoma alterna entre dos modos, el sistema Autopilot y el sistema Autogiro. El sistema Autogiro (que se describirá mas detalladamente en apartados posteriores), a grandes rasgos mantiene el vehículo dentro del carril a la velocidad necesaria sin tomar otras decisiones, el sistema Autopilot escoge las decisiones nombradas en los párrafos anteriores. Por tanto, al entrar en una autovía controlada, es el sistema Autopilot el

que asume el mando, pero fuera de estas vías, el vehículo puede contar con el sistema de autonomía Autogiro, que aunque engloba menos funciones que el primero, puede ayudar igualmente en la conducción.

### 5.3. Decisiones Morales

Otro aspecto que debe tener en cuenta el vehículo durante la conducción es la toma de lo que se llaman "decisiones morales", en situaciones donde es imposible evitar un accidente, de que forma calcula el vehículo cual de las maniobras posibles generará menos daños. Un claro ejemplo de esto es por ejemplo, una situación en la que haya un fallo de los frenos del coche, y se tiene que decidir entre girar a derecha y atropellar a un motorista, seguir recto y atropellar a un peatón o girar a la derecha y colisionar contra una pared, poniendo en riesgo la seguridad de sus pasajeros. Estas decisiones son complicadas incluso para una persona humana y la mayoría no tienen una respuesta válida. Por tanto si es complicado escoger para un humano, es aún mas difícil programar esta toma de decisiones para un sistema autónomo.

Para estas decisiones morales, aunque no hay ninguna solución clara, se pueden tener en cuenta la edad de las personas, la cantidad, su oficio, si cumplen con las señales de tráfico en el momento de la decisión... No obstante, nunca hay una opción mejor que otra y a día de hoy no hay programada ninguna solución óptima.

Un investigador del MIT realizó un experimento llamado "la máquina mortal."<sup>en</sup> el que los participantes debían tomar decisiones morales para de-



cidir como debería actuar el coche autónomo en estas situaciones. En 2017 Alemania propuso una guía moral en 20 normas para los vehículos autónomos. Esta guía fue desarrollada por el Ministerio de transportes Alemán, un grupo de ingenieros, profesores de filosofía, expertos en derecho, fabricantes, consumidores y representantes de la iglesia. La mayor parte de las 20 normas no chocan con los resultados obtenidos por el experimento realizado en el MIT, salvo el punto 9 en el que se especifica lo siguiente: <sup>En</sup> el caso de situaciones donde el accidente sea inevitable, está estrictamente prohibida cualquier distinción basada en rasgos personales (edad, género, o constitución física o mental)”

## 6. AutoPilot

Los vehículos Tesla incorporan la tecnología Autopilot, diseñada para ayudar en las partes más agotadoras de la conducción. Es un conjunto de funciones Avanzadas del Sistema de Asistencia al Conductor (ADAS) que ofrece Tesla y que equivale a la automatización de vehículos de nivel 2, ya que aunque incluye características cercanas a la autonomía de nivel 3. De momento se encuentran en una etapa muy temprana, por lo que la atención del conductor no debe apartarse en ningún momento ni de la carretera ni funcionamiento del automóvil. Por esta razón, además de la falta de algunos sistemas inteligentes que permitan su completo funcionamiento autónomo, el sistema Autopilot de Tesla aún se considera en nivel 2.

Autopilot introduce nuevas funciones y mejora la funcionalidad existente para hacer que Tesla sea un vehículo más seguro y versátil. Permite que el

automóvil gire, acelere y frene de forma automática dentro del carril. En todas estas funciones, el conductor es el responsable y el automóvil requiere una supervisión constante. El único tramo en el que se permite que el conductor suelte las manos del volante (que no la atención), es durante las travesías por autovías controladas, en las que los carriles son claros y los límites de velocidad están muy marcados.

Pese a esto, el sistema Autopilot está parcialmente preparado para circular por vía urbana, ya que tiene sistemas de detección que son capaces de localizar señales de tráfico y viandantes, con el fin de respetarlos y conseguir una buena conducción. No obstante, esta circulación se está aún desarrollando y se restringe a pruebas o experimentos para comprobar su validez, de cuyas grabaciones se disponen en la página web de Tesla, visible para que todo el público pueda comprobar sus avances.

## 7. AutoGiro

Los vehículos autónomos de Tesla también incorporan la tecnología del autogiro. Este sistema está basado en el Control de crucero adaptado al tráfico, que determina si hay un vehículo que circula delante del automóvil Tesla. Si no hay nada delante, se mantiene a una velocidad de conducción establecida, y si detecta un vehículo, el sistema reduce la velocidad para mantener una distancia con ese automóvil. Este sistema está pensado sobre todo para carreteras secas y rectas, como las autopistas.

Por otro lado, el autogiro es una tecnología que permite que el vehículo se mantenga de forma inteligente en el carril por el que circula a una velocidad determinada. En definitiva, es un sistema que controla la dirección del automóvil de una manera muy sencilla.

## 8. Smart Summon

Una de las grandes novedades de Tesla es el Smart Summon, un nuevo sistema que permite que el vehículo se desplace por entornos y plazas de aparcamiento de mayor complejidad, maniobrando alrededor de objetos según sea necesario.

Esta tecnología es una evolución de la antigua Summon, que permitía que el vehículo avanzara hacia delante o hacia atrás en un aparcamiento sin que hubiera conductor, a través de una app. Smart Summon en cambio va más allá, pues mediante la ubicación GPS del smartphone se puede llamar al coche y que este se dirija hacia el usuario, controlando la dirección, acelerador y frenos.

Para que este sistema pueda funcionar el usuario se tiene que encontrar a unos 60 metros del vehículo, y solo puede emplearse en aparcamientos y caminos, no en vías públicas. Cabe destacar que debido a las restricciones legislativas, el Smart Summon en Europa ha llegado más limitado que en Estados Unidos, ya que solo puede funcionar cuando el usuario se encuentra a un máximo de 6 metros del vehículo y conecta el smartphone al automóvil mediante bluetooth.

Por otro lado, Tesla tiene pensado en un futuro utilizar mapas y datos de navegación obtenidos a través de sus coches, o mejor dicho, de los coches de sus clientes, para mejorar el 'Smart Summon'. La idea es aprender a partir de los datos de los Tesla que han estado previamente en esa ubicación. Por ejemplo, si un número determinado de propietarios han estado en el aparcamiento de una gran superficie y sus coches han explorado ya la zona, su información servirá para que otros Tesla se desenvuelvan mejor por dicha zona.

En definitiva, si el coche pudiera acceder a la información de la red neuronal de Tesla o a los datos del GPS se podría mejorar su capacidad de dirigirse hacia el propietario con mucha más precisión y con un funcionamiento mucho más fluido.

## 9. Legislación

Pese a que el objetivo de los coches autónomos es permitir una conducción sin un ser humano al volante o que tenga que estar pendiente de la carretera, hay muchos países que no disponen de un avance en la legislación para permitir que esta clase de vehículos entre en circulación. Sin ir más lejos, en España la ley es clara ante la autonomía de los vehículos y especifica que "los conductores deben estar en todo momento en condiciones de controlar sus vehículos y con la atención permanente", cosa que impide el avance de este tipo de inteligencia artificial en el sector.

Por tanto, en países como estados unidos, donde tienen su sede empresas punteras en el sector de los vehículos inteligentes y autónomos como Tesla, la circulación de estas está completamente permitida y permiten que la innovación de este campo continúe a buen ritmo y que, en un tiempo cada vez menor, los coches completamente autónomos sin conductor sean una realidad.

Por otro lado, países de otras partes del globo, como algunos pertenecientes a la Unión Europea, tienen unas medidas más restrictivas que chocan con la permisividad de la circulación de vehículos autónomos de países como Estados Unidos. Un ejemplo claro es el estado español, donde los coches autónomos están restringidos y no permiten que circulen sin supervisión de un conductor, haciéndolo al propietario del vehículo máximo responsable de cualquier tipo de accidente que sufra.

La DGT española descarta cualquier nivel de autonomía que permita al conductor despistar su atención de la carretera, permitiendo el resto de sistemas que ayuden en la conducción. La única excepción en la que se podrían utilizar vehículos sin conductor por la vía pública es en el caso de experimentos o pruebas de ciertas empresas, teniendo que solicitar permiso previamente.

En añadido, no se prevé un cambio en la legislación a corto plazo, ya que la última modificación en este sector fue en 2016, donde se aceptó una ley para permitir el estacionamiento automático. Por tanto, queda mucho camino por recorrer para que los vehículos puedan circular de forma autónoma por las

carreteras españolas.

## 10. Conclusión

Como se ha podido comprobar, existen diferentes niveles de conducción autónoma, por lo que dependiendo del nivel, el conductor modificará su comportamiento durante la conducción.

Son muchos los avances tecnológicos que empresas como Tesla desarrollan para mejorar la conducción autónoma y que cada vez sea más aplicable y común en los vehículos de todo el mundo. Cabe destacar el lastre a la innovación y desarrollo de este sector producido por la legislación y burocracia de algunos organismos y estados.

Definitivamente la conducción autónoma será una realidad antes o después debido a la multitud de ventajas que ofrece y al nivel de seguridad que aportará a los pasajeros.

## 11. Vídeo

La presentación en vídeo se encuentra en el siguiente enlace: **vídeo**

## Referencias

- [1] Clasificación coches autónomos
- [2] SAE: niveles estándar de autonomía en coches autónomos
- [3] Cuadro clasificación coches autónomos
- [4] Sensores Tesla Model 3
- [5] Hardware Tesla Model 3
- [6] Smart Summon
- [7] Smart Summon
- [8] Legislación
- [9] Legislación de los coches en España
- [10] AutoGiro
- [11] Autopilot de Tesla
- [12] Red neuronal del Autopilot
- [13] Hardware 3 del futuro Autopilot
- [14] Manual de Usuario de Tesla
- [15] Prestaciones del Model 3 de Tesla
- [16] Código ético coches autónomos Alemania