

## LA BASE DE LA AUTONOMÍA VEHICULAR: LOS ADAS

THE BASIS OF VEHICLE AUTONOMY: ADAS



**Jose Eduardo Barnica Muñoz<sup>1</sup>**  
**José Antonio Álvarez Castillo<sup>1</sup>**  
**Abraham Gastélum Barrios<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Anáhuac Querétaro,  
Santiago de Querétaro, México.

<sup>2</sup>Universidad Abierta y a Distancia de México,  
Ciudad de México, México

\*[abraham.gastelum@anahuac.mx](mailto:abraham.gastelum@anahuac.mx)

# Abstract

Advanced driver assistance systems (ADAS) comprise a branch of innovation and development within the automotive industry that has enabled vehicle evolution in technological aspects. The need to ensure the integrity of people during transportation has oriented automotive modernization towards autonomous vehicles. The generation of intelligent systems based on sensors, cameras and radars allows for real time information processing in decision making. ADAS help the driver of a car to have a better and safer driving experience, and have become mandatory for the manufacture of new vehicles in some parts of the world. The future points to a massive revolution; large investments are expected to the industry that will result in major advances in the technology implemented in new models of major commercial brands. the present article focuses on highlighting the regulatory, instrumentation and opportunity trends for the development of automotive ADAS systems.

Keywords: ADAS, vehicle autonomy, artificial intelligence, mechatronics, sensors, trends.

# Resumen

Los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS, por sus siglas en inglés) comprenden una rama de innovación y desarrollo dentro de la industria automotriz que ha permitido la evolución vehicular en aspectos tecnológicos. La necesidad de asegurar la integridad de las personas a la hora de transportarse ha orientado la modernización automotriz hacia los vehículos autónomos. Generar sistemas inteligentes basados en sensores, cámaras y radares permite el procesamiento de información en tiempo real para la toma de decisiones. Los ADAS ayudan al conductor de un automóvil a tener una experiencia de manejo más eficiente y segura, y han comenzado a ser obligatorios para la manufactura de nuevos vehículos en algunas partes del mundo. El futuro apunta a una revolución masiva; se esperan grandes inversiones a la industria que resultarán en avances importantes en la tecnología implementada en los nuevos modelos de las principales marcas comerciales. Este artículo se enfoca en remarcar las tendencias regulatorias, de instrumentación y de oportunidad para el desarrollo de sistemas automotrices ADAS.

Palabras clave: ADAS, autonomía vehicular, inteligencia artificial, mecatrónica, sensores, tendencias.





## Introducción

El futuro a nivel mundial de la autonomía vehicular yace en la implementación de tecnología capaz de mejorar la experiencia de manejo. Bajo este fundamento en los últimos diez años han aparecido los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS, por sus siglas en inglés), los cuales han incrementado el nivel de inteligencia vehicular mediante el procesamiento computarizado de las principales situaciones de riesgo que una persona enfrenta a la hora de manejar un vehículo [1].



Figura 1.  
Representación  
con fines visuales  
de un vehículo  
inteligente [2].

Los ADAS se consideran sistemas capaces de prevenir y reducir la cantidad de impactos vehiculares bajo distintas condiciones de operación. Actualmente se puede atribuir el 94 % de los choques a errores que los humanos cometen de manera indirecta [1]; es decir, el porcentaje que liga el error humano con las fatalidades vehiculares a nivel mundial es casi absoluto. Mediante experimentos realizados en 2005 se averiguó que durante el 78 % de accidentes y el 67 % de casi-accidentes, las personas experimentaron un momento de distracción durante tres segundos que condujeron al impacto vehicular [3]. Estas cifras evidencian la importancia de los ADAS a futuro, ya que ayudarían a reducir las colisiones generadas por el error humano.

Para analizar qué clase de situaciones de riesgo se pueden evitar con el uso de los sistemas ADAS solamente es necesario entender el escenario en que cada uno de los sistemas se activaría: los ADAS son capaces de mitigar colisiones frontales, desvíos involuntarios de carril, choques por punto ciego, impactos con peatones, golpes laterales y de reversa, entre otros percances.

Los orígenes de los sistemas ADAS se pueden establecer en el año 1990, cuando se patentó el primer sistema de evasión de colisiones. El invento



fue presentado por William Kelley, quien propuso un aparato capaz de evitar colisiones mediante un transmisor de pulsos microondas y un receptor que escaneara el haz de pulsos. Asimismo, el sistema contaba con una computadora y un reloj que procesaba la diferencia temporal entre el momento en que se enviaba un pulso y el instante en que se recibía un eco. En la patente se hace mención de que, en ese momento, ya existían vehículos experimentales con radares, e incluso algunos que accionaban los frenos de forma autónoma, sin embargo, dichos sistemas fallaban en trayectorias curvas. Para resolver el problema, el autor diseñó un sistema que calculaba la distancia y la dirección de los obstáculos, y con esos datos estimaba la probabilidad de un choque [4].

El presente artículo expone una perspectiva del avance en los sistemas ADAS, así como la tendencia de desarrollo respaldado por los avances más relevantes que han tenido las principales marcas comerciales.

## Desarrollo

### Instrumentación en ADAS

Para analizar el entorno y las características del vehículo, los ADAS usan sensores ultrasónicos e infrarrojos, radares, LiDARs y cámaras que muestran una visión perimetral en tiempo real [5] (Figura 2). El procesamiento en tiempo real de cada uno de estos elementos permite la representación inteligente del entorno alrededor del vehículo. La incorporación de los instrumentos de medición conforma la base del sistema, y por ello es fundamental la correcta calibración de cada uno para evitar errores que entorpezcan el funcionamiento del sistema de prevención.

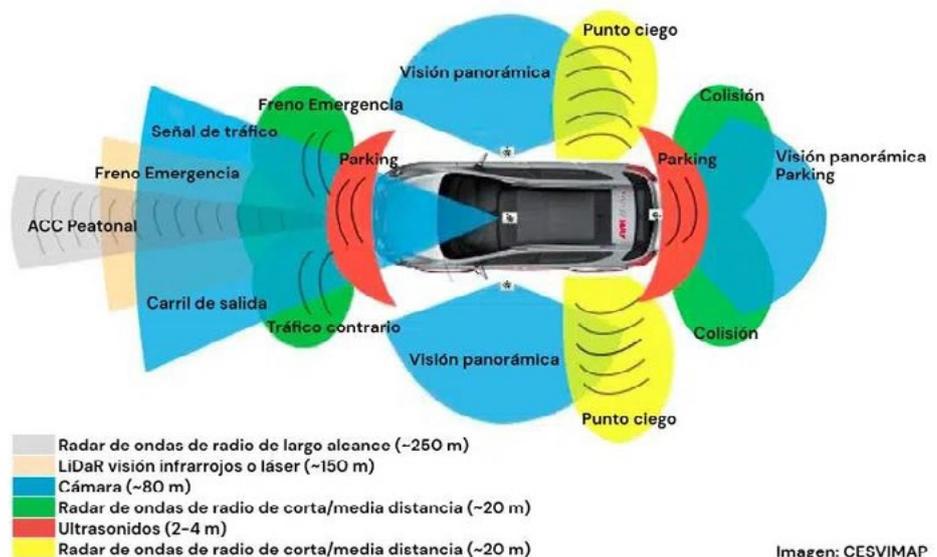


Figura 2. Elementos de un vehículo para los ADAS [6].



La cámara es un sensor pasivo, lo que implica que no emite señales para la medición de parámetros. Sin embargo, es un elemento de visión útil para la detección de colores relacionados con la señalización y la comprensión del entorno. El radar emite ondas de radiofrecuencia que rebotan en los obstáculos que se encuentran en el ambiente para después regresar al sensor. De esta forma se calcula la distancia entre el vehículo y los objetos a su alrededor. Un **LiDAR** se desempeña bajo el mismo fundamento del radar, con la diferencia de que éste emitirá ondas de luz, cuya precisión en el reconocimiento de objetos del ambiente es mayor; también se usa para la reconstrucción del entorno en una representación digital tridimensional en tiempo real.

Estos sensores se suelen combinar mediante técnicas de inteligencia artificial para exhibir un comportamiento más robusto. Entre ellas se encuentra el *Deep Learning*, el cual puede procesar cantidades ingentes de datos estructurados y no estructurados para realizar tareas como el reconocimiento y seguimiento de objetos. Esta metodología cuenta con múltiples capas ocultas que a su vez se componen de pesos y funciones de activación, mediante las cuales se relaciona un conjunto de entradas con la salida deseada. Específicamente para las cámaras, se suelen entamar redes neuronales convolucionales, las cuales realizan operaciones de convolución y reducción de dimensionalidad, como el *pooling*, para efectuar la detección de objetos.

Asimismo, los sensores pueden adoptar el aprendizaje por refuerzo, el cual es una propiedad de la inteligencia artificial que consiste en “aprender” sin datos etiquetados. En este sentido, esta metodología aplica un sistema de recompensas: expone un agente a un ambiente donde existe un conjunto determinado de acciones, y dependiendo de la acción que realice para cada estado, el agente recibirá una recompensa positiva o negativa. De esta forma, los constructos IA son capaces de aprender de forma empírica mientras buscan maximizar las recompensas en el proceso de entrenamiento [7]. Empero, si bien todos estos sensores pertenecen a un específico grupo de componentes capaces de responder ante situaciones de riesgo, es necesario reconocer los factores externos que pueden comprometer su desempeño (Tabla 1).



...los sensores usan aprendizaje por refuerzo para aprender sin datos etiquetados, optimizando recompensas para mejorar su rendimiento.



Tabla 1. Comparativa de elementos de un ADAS [8].

SENSOR	AFECTADO POR ILUMINACIÓN	AFECTADO POR CLIMA	DETECTA COLORES	RANGO DE APLICACIÓN	EXACTITUD BASADA EN DISTANCIA	TAMAÑO	COSTO
Cámara	Sí	Sí	Sí	-	-	Pequeño	Bajo
Radar	No	No	No	Alto	Media	Pequeño	Medio
LiDAR	No	Sí	No	Medio	Alta	Grande	Alto
Ultrasónico	No	No	No	Corto	Baja	Pequeño	Bajo

Como se puede observar, los ADAS no son infalibles; de hecho, sus fallos pueden llegar a causar terribles accidentes, como el ocurrido en Texas en 2021, cuando dos personas perdieron la vida al chocar con un árbol mientras su coche, un Tesla Modelo 2, circulaba en piloto automático. La razón del choque fue que los sensores no pudieron reconocer una curva y el automóvil terminó por salirse de la carretera. Por desgracia, este accidente no es el único que ha ocurrido en vehículos equipados con ADAS [9].

### Niveles de manejo autónomo

La finalidad de los ADAS consiste en conseguir una autonomía vehicular que permita el transporte seguro sin las preocupaciones que conlleva sentarse al volante. Así, la SAE (*Society of Automotive Engineers*, por sus siglas en inglés) decidió categorizar los niveles de automatización de un vehículo en función de sus ADAS [8]. Se establecieron las proyecciones a futuro esperadas de los nuevos desarrollos que cada año implementa de manera progresiva la industria (Figura 3).



Figura 3. Niveles de autonomía vehicular. Adaptado de [8].



Entre las características más relevantes en cada nivel de autonomía vehicular se destacan:

- Nivel 0. Da soporte al conductor mediante advertencias y asistencia momentánea con el sistema de frenado de emergencia automático y la detección de carril; se refuerza el punto ciego del vehículo.
- Nivel 1. Ofrece retroalimentación al direccionamiento, frenado y aceleración del vehículo mediante el centrado de carril o el control de crucero adaptativo.
- Nivel 2. Brinda retroalimentación al direccionamiento, frenado y aceleración del vehículo mediante el centrado de carril y el control de crucero adaptativo de manera simultánea.
- Nivel 3. El vehículo opera de manera autónoma mientras que las condiciones ideales se cumplan, sin embargo el conductor deberá tomar el mando si se le solicita.
- Nivel 4. El vehículo opera de manera autónoma en caso de que las condiciones ideales se cumplan; la presencia de algunos pedales es opcional y el conductor rara vez será solicitado.
- Nivel 5. Autonomía total del vehículo, podrá operar por sí solo bajo cualquier condición sin la necesidad de alguna intervención humana.

Es notable mencionar que hasta 2023 todavía se desarrollaban vehículos de niveles 2 y 3 de autonomía. En 2017, el Audi A8 fue el primero capaz de alcanzar el nivel 3, promoviendo el enfoque que han tomado las industrias orientadas a la interacción entre la inteligencia artificial y los vehículos autónomos [8].

## Tipos de ADAS

Existe una amplia diversidad de tecnologías que permiten el funcionamiento de un asistente autónomo dentro del vehículo. Basados en los componentes explicados anteriormente, se dispone una serie de subsistemas que permiten la modernización vehicular. La Unión Europea impuso, a partir de 2022, la inclusión obligatoria de 8 ADAS para los vehículos de nueva homologación [10]:



- *ISA (Intelligent Speed Assistance)*. El asistente inteligente de velocidad funciona mediante la combinación de un limitador de velocidad y el reconocimiento de señales de tráfico para respetar las regulaciones de velocidad.
- *EDR (Event Data Recorder)*. La grabadora de eventos es similar a una caja negra como las de la industria aeronáutica. Recaba datos específicos de velocidad, posición, aceleración y otros, que permiten determinar las causas de un siniestro.
- *RCTA (Rear Cross Traffic Assist)*. Las cámaras y sensores detectan obstáculos e impiden el avance del vehículo ante el riesgo de colisión.
- *AEB (Automatic Emergency Braking)*. Este sistema de frenado automático evita impactos inminentes y emite una alerta a los usuarios.
- *LDW (Lane Departure Warning)*. Avisa al conductor cuando se aproxima al borde de su carril sin haber activado los indicadores direccionales.
- *Alcolock*. Una medida preventiva para los conductores que se encuentran bajo los efectos del alcohol. Evalúa los niveles de alcohol en el cuerpo del conductor y bloquea el arranque del vehículo si son excesivos.
- Alerta de uso del cinturón en todas las plazas. Anteriormente solo se solicitaba el uso de cinturones de seguridad en los asientos delanteros, pero este sistema exige que todos los pasajeros dentro del vehículo abrochen sus cinturones.
- Detector de fatiga. El automóvil supervisa la atención del conductor mediante cámaras infrarrojas que registran datos como la cadencia de parpadeo y emiten alertas para instarlo a descansar en caso de que presente percances como pérdidas de atención o somnolencia.

La Unión Europea ha promovido estos mecanismos con la intención de migrar a los automóviles inteligentes lo más pronto posible. Dichos subsistemas corresponden a los primeros niveles de la autonomía SAE J3016, pero se espera que la retroalimentación derivada de su implementación acelere el desarrollo de vehículos completamente autónomos en los próximos años.



Tabla 2.  
Dispositivos de seguridad obligatorios y complementarios en la NOM-194-SCFI-2021 [11].

Por otra parte, el 22 de septiembre de 2023 fue aprobado en México el estándar NOM-194-SCFI-2021, cuyo propósito es reforzar las regulaciones de seguridad y reducir el número de siniestros viales. La norma es aplicable para modelos 2023 y posteriores, y se basa en el Estándar Oficial Mexicano (EOM), las Normas Mexicanas (NM), los Estándares de Seguridad Federales para Vehículos de Motor (ESFVM) y las pautas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Cabe recalcar que el sistema de seis bolsas de aire como estándar mínimo todavía no se ha implementado en México, lo cual demuestra que aún existe un largo camino por recorrer en temas de seguridad vial en el país. A continuación, en la Tabla 2 se presentan los dispositivos de seguridad obligatorios y complementarios considerados en la NOM-194-SCFI-2021 [11].

CLASIFICACIÓN	DISPOSITIVO	EOM O NM	SECCIÓN DE ESFVM	REGULACIÓN DE LA ONU
Obligatorio	Monitoreo de Presión de Llantas	-	138	NU R141 o NU R64
	Control Electrónico de Estabilidad	-	126	NU R140 o NU R13H o NU R13
	Anclajes del Sistema de Retención Infantil (Isofix o Latch)	-	225	NU R14 o NU R145
	Prueba de Impacto Lateral de Poste	-	214	NU R135
	Sistema de Dirección en Prueba de Impacto	NMX-D-084-1976	204	NU R12 o NU R94
	Sistema de puertas	-	206	NU R11
	Luz alta de Freno	NMX-D-233-IM-NC-2016	108	NU R48 o NU R07 o NU R148
	Integridad del Sistema de Combustible	-	301	UNECE R34
ADAS Complementarios	Asistencia de Frenado	-	-	NU R139
	Protección de Peatones	-	-	NU R127
	Sistema de Advertencia de Cambio de Carril	-	-	NU R130
	Luces Frontales Adaptativas	-	-	NU R123
	Sistemas de Protección de Impacto a Baja Velocidad	-	49 CFR 581	NU R42
	Caja negra	-	49 CFR 563	-
	Faros de Iluminación en Curva	-	-	NU R119
	Frenado Autónomo de Emergencia	-	-	NU R152

Tabla 3. Dispositivos de seguridad obligatorios y complementarios en la NOM-194-SCFI-2021 [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Ahora bien, la infraestructura es un pilar para la adopción de ADAS; en la Tabla 3 se muestran los principales factores en este rubro que influyen en la inserción de los ADAS en México.

CLASIFICACIÓN	FACTOR	VALOR
Caminos	Carreteras pavimentadas	176 984 km
	Extensión total de la Red Nacional de Caminos	788 323 km
	Número de semáforos en la Ciudad de México	3 522
	Semáforos inteligentes en la Ciudad de México	1 440
Vehículos Eléctricos	Vehículos eléctricos e híbridos vendidos en 2022	30 000
	Vehículos híbridos regulares vendidos en 2022	25 150
	Vehículos híbridos <i>plug in</i> vendidos en 2022	2 500
	Vehículos completamente eléctricos vendidos en 2022	5 306
	Producción de vehículos eléctricos en 2022	79 471
	Estaciones de carga de velocidad media y rápida en 2022	677
Cobertura 5G	Número de ciudades con cobertura 5G en 2022	18

### Principales exponentes de los ADAS

Dentro de la industria de los vehículos inteligentes existen dos empresas exponentes en avances tecnológicos: Tesla y Google. Ambas han revolucionado el ámbito con desarrollos vanguardistas, generando estudios y pruebas de campo desde hace muchos años para procurar el correcto funcionamiento de sus vehículos. La gigante automotriz de Elon Musk, Tesla Motors, se ha caracterizado por la cantidad de sistemas embebidos de sus vehículos [18], destacando la capacidad de reconocer el entorno en el cual se encuentran mediante sensores ultrasónicos y radares para la detección en tiempo real (Figura 4).



Figura 4. Reconocimiento en tiempo real de Tesla Model 3 [18].



Aun así, Tesla recurre a medidas distintas a la industria automotriz; desde 2023, todos sus modelos se desarrollan sin sensores ultrasónicos ni radares [18]. El procesamiento completo se lleva a cabo en el denominado "Tesla Vision", un sistema basado solamente en cámaras de visión artificial que facultan al vehículo para tomar decisiones autónomas. La intención es replicar el análisis que realizan los seres humanos basado puramente en la visión de su entorno como criterio de decisiones. De tal modo, el sistema queda libre de la interferencia (o "contaminación" como la firma lo define) de los radares externos, y se aseguran las funciones existentes de una manera novedosa a nivel procesamiento.

Google, en cambio, ha incurrido en el mundo de los vehículos autónomos con el uso de los componentes característicos de los ADAS. A base de 4 radares, cámaras, GPS y LiDARs, ha diseñado el procesamiento vehicular de manera eficiente (Figura 5). Mediante técnicas solamente de GPS, ha logrado orientar y dirigir el vehículo durante ciertos trayectos conocidos por el sistema [19].

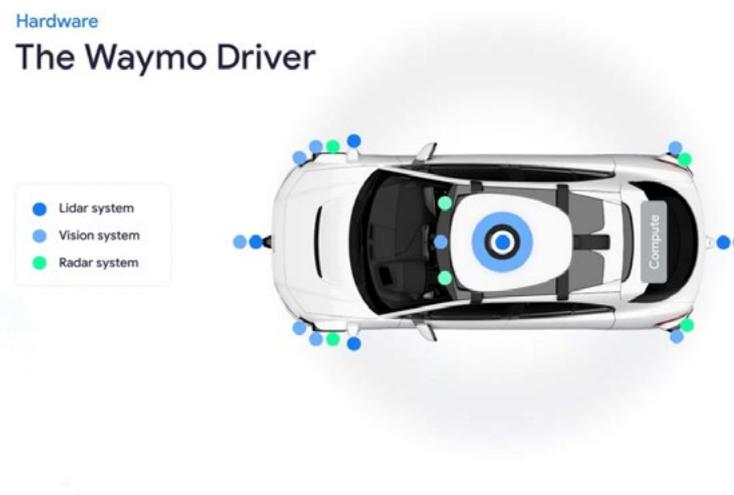
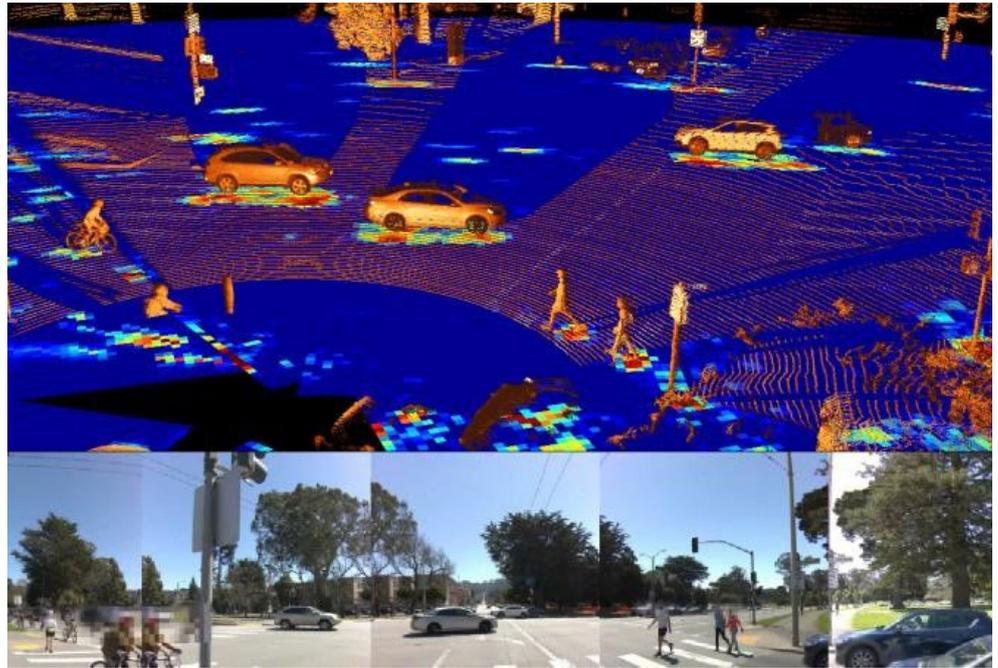


Figura 5. Sistema de Google "Waymo" [20].

La incorporación del LiDAR al vehículo permite reconstruir el entorno en tiempo real; al instalar uno en la parte superior del auto es posible detectar los 360 grados que rodean al sistema (Figura 6). Sin embargo, el costo puede llegar hasta los 80 000 USD por un solo sensor avanzado [19]. Google se ha encargado de entrenar sus sistemas mediante los datos obtenidos en la conducción acumulada durante los últimos años. Se espera que a mediano plazo logre optimizar el LiDAR para evitar pérdidas de información que son frecuentes en el sistema.



Figura 6. Reconstrucción digital del entorno sistema "Waymo" [20].



Otro exponente de los ADAS es la destacada marca de automóviles Audi, la cual lanzó en 2017 su revolucionario modelo A8, el cual implementaba un sistema *Traffic Jam Pilot*. Con este programa el vehículo se convirtió en el primero en permitir una conducción automatizada condicionada de nivel SAE 3. Específicamente, el coche era capaz de conducir autónomamente en circunstancias de tráfico denso a velocidades no superiores a 60 km/h. Al activarse, el conductor podía soltar los pedales y el volante; simplemente se requería que estuviera alerta en caso de que fuese necesario que retomara el control. Para lograr esta hazaña, Audi aplicó un controlador central para los sistemas de asistencia y datos obtenidos por la unidad de control del radar. Mediante estos dispositivos, el vehículo era capaz de arrancar desde el reposo, acelerar, frenar y respetar su carril [21]. En la Figura 7 se muestra una vista de la interfaz del sistema *Traffic Jam Pilot* en operación.

Figura 7. *Traffic Jam Pilot* en operación [21].





## Proyección a futuro

Los avances tecnológicos en los ADAS, aunados a las regulaciones europeas impuestas en 2022, marcan una clara tendencia a la mejora continua y el desarrollo de patentes para los próximos años [10]. Si bien sus estudios se encuentran en etapas tempranas comparados con otros componentes automotrices, se espera que para 2030 se inviertan hasta 83 mil millones de dólares en investigaciones y pruebas físicas [22]. La creciente inversión permite destinar recursos humanos y financieros al desarrollo de variantes con una mejor relación calidad-precio, estableciéndose así una oportunidad valiosa para los gigantes de la industria automotriz.

Por su parte, en Estados Unidos, la organización encargada de regular la seguridad de los vehículos de motor es la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras. Este organismo discrepa de los reguladores europeos en que, en Estados Unidos, las regulaciones para vehículos se basan en autocertificaciones obligatorias, mientras que en Europa se necesita de una aprobación previa a la comercialización de cada vehículo. En este sentido, los ESFVM en Estados Unidos todavía no exigen ninguna tecnología ADAS, pero tal situación no ha frenado la inserción de estos dispositivos en el mercado, pues solamente en 2018 el 92 % de los vehículos nuevos tenían integrado al menos un ADAS [23].

Por otra parte, si bien México no es un protagonista en el desarrollo de ADAS en la actualidad, el país cuenta con el potencial para convertirse en uno en los próximos años. México ya posee una robusta cadena de manufactura en la industria automotriz, un generoso nivel de inversión extranjera y la oportunidad de aprovechar el *nearshoring*, la práctica de las empresas que localizan sus fábricas y cadenas de suministro en países cercanos a su mercado objetivo. En este rubro, el director general de Economía, Negocios e Indicadores, John Soldevilla, ha afirmado que México es el país con la mayor oportunidad para aprovechar el fenómeno.

Se espera del *nearshoring* un crecimiento anual del 3.7 %, un porcentaje considerable en comparación con el 2.6 % de la última década [24]. De igual manera, en 2021, México reportó una inversión extranjera directa (IED) de 31 600 millones de dólares, y se espera que la cifra aumente en los siguientes años [25].





En el panorama mundial, durante los próximos siete años habrá un alza en el desarrollo de componentes físicos derivada de la inminente necesidad de abastecer a la industria automotriz (Figura 8). El mercado estima de 30 a 40 mil millones de dólares solamente para la manufactura de estos elementos [26]. De la misma forma se presentarán áreas de oportunidad y mejora en el software para la toma de decisiones. Los algoritmos de inteligencia artificial, predicción y mapeo para la ejecución de comandos se verán inyectados monetariamente hasta en 20 mil millones de dólares en el año 2030.

Figura 8. Ganancias proyectadas en el mercado de los componentes usados en ADAS [23].

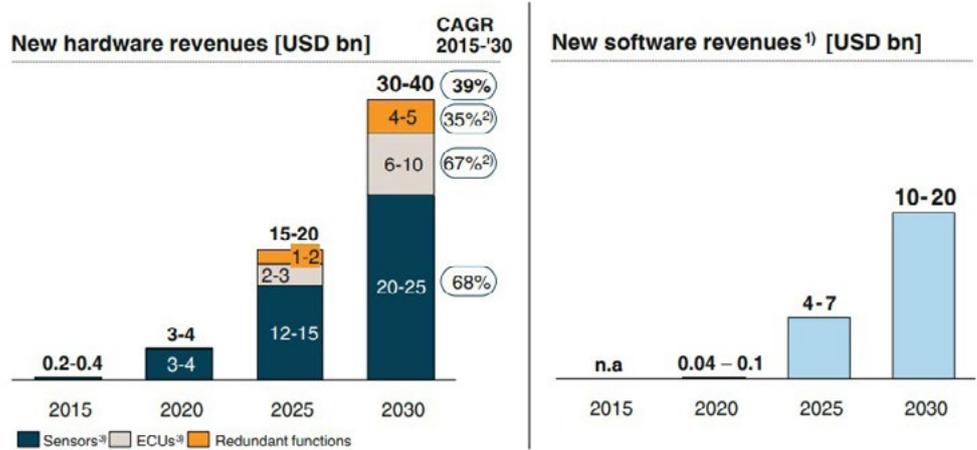


Tabla 4. Fases de desarrollo de los ADAS con base a la Fundación MAPFRE [27].

En 2022 se estableció la primera fase por parte de la Unión Europea y se plantearon nuevas mejoras esperadas para los próximos años. Progresivamente se incorporarán ADAS cada vez más avanzados que permitirán la autonomía vehicular en un mediano plazo (Tabla 4).

FASE	NUEVOS VEHÍCULOS APROBADOS	NUEVAS PARTES/VEHÍCULOS	ADAS INCLUIDOS
Fase 1	Obligatorio a partir de julio de 2022	Obligatorio a partir de julio de 2026	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asistencia Inteligente de Velocidad (ISA)</li> <li>Sistema de mantenimiento dentro del carril (coches y camionetas)</li> <li>Frenado automático con vehículo en movimiento y detección de objetos (coches y camionetas)</li> <li>Grabadora de eventos (coches y camionetas)</li> <li>Control de somnolencia y sistemas de advertencia sobre distractores</li> <li>Interfaz para instalación de Alcolock</li> <li>Señal de frenado de emergencia</li> <li>Detección de obstáculos en maniobras de marcha atrás</li> <li>Sistema de información sobre punto ciego (camiones y autobuses)</li> <li>Advertencia de colisión con peatones y ciclistas (camiones y autobuses)</li> <li>Sistema de monitoreo de presión en las llantas (camionetas, camiones y autobuses)</li> </ul>



FASE	NUEVOS VEHÍCULOS APROBADOS	NUEVAS PARTES/VEHÍCULOS	ADAS INCLUIDOS
Fase 2	Obligatorio a partir de julio de 2024	Obligatorio a partir de julio de 2026	<ul style="list-style-type: none"><li>• Frenado autónomo con detección de peatones y ciclistas (coches y camionetas)</li><li>• Advertencia avanzada de distracción del conductor</li><li>• Zona de impacto frontal extendida para prevenir lesiones de peatones (coches y camionetas)</li><li>• Sistema de advertencia sobre desgaste de llantas</li><li>• Grabadora de eventos (vehículos autónomos)</li><li>• Monitoreo de disponibilidad del conductor (vehículos autónomos)</li><li>• Pelotón (camiones autónomos)</li><li>• Actualización de ciberseguridad y software</li></ul>
Fase 3	Obligatorio a partir de enero de 2026	Obligatorio a partir de enero de 2029	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requerimientos de visión directa (camiones y autobuses)</li><li>• Grabadora de eventos (camiones y autobuses)</li><li>• Protección de peatones para series pequeñas: mediados de 2028 (nuevas aprobaciones), mediados de 2034 (nuevos vehículos)</li></ul>

## Conclusiones

La implementación de los ADAS surge de la modernización y globalización actual con el objetivo de asegurar la salud y bienestar de las personas que se movilizan en vehículos, y ha llegado a convertirse en una necesidad regulatoria que la industria automotriz debe acatar durante los próximos años. Se han comenzado a dar los primeros pasos de esta revolución masiva, sin embargo, el horizonte de la autonomía vehicular parece un todavía lejano. México es uno de los promotores de esta revolución al proveer la mano de obra ligada a los desarrollos necesarios para la implementación de dichos sistemas. Las inversiones e inyecciones monetarias que la industria tendrá en los próximos años revelan una gran área de oportunidad para los ingenieros y entusiastas de la tecnología. Finalmente, todos estos sistemas comparte la misma meta: procurar la integridad del ser humano. La tecnología orientada a mejorar la calidad de vida ha llegado a la industria automotriz con planes de quedarse hasta obtener niveles de seguridad confiables.

Dentro de las tendencias al desarrollo e investigación de sistemas, algoritmos y políticas públicas, México se encuentra en un área de oportunidad, ya que cuenta con los recursos, infraestructura para el desarrollo de tecnología, aliados estratégicos y, sobre todo, el talento en las instituciones de educación superior para incentivar y emprender proyectos de I+D enfocados en esta área. Al ser un país fabricante de vehículos de distintas marcas y estilos, México se posiciona como una fuente de creación, validación e inserción en el mercado de productos con alto grado de innovación.



## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Anáhuac de Querétaro por las facilidades brindadas para el desarrollo del proyecto de investigación de donde se desprende este artículo.

## Referencias

- [1] S. Peiris, S. Newstead, J. Berecki-Gisolf, B. Chen, y B. Fildes, "Quantifying the Lost Safety Benefits of ADAS Technologies Due to Inadequate Supporting Road Infrastructure", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 4, 2022, DOI: 10.3390/su14042234
- [2] Den. "Sistemas ADAS: qué son y cuáles tenemos en nuestros coches". Autodoc Club. <https://club.autodoc.es/magazin/sistemas-adas-que-son>
- [3] K. Hojjati-Emami, B. S. Dhillon, y K. Jenab, "Reliability prediction for the vehicles equipped with advanced driver assistance systems (ADAS) and passive safety systems (PSS)", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 3, no. 5, pp. 731-742, 2012, DOI: 10.5267/j.ijiec.2012.08.004
- [4] W. Kelley, "Collision predicting and avoidance device for moving vehicles", patente US4926171A, 15 de mayo de 1990. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/023045982/publication/US4926171A?q=pn%-3DUS4926171>
- [5] A. Ziebinski, R. Cupek, D. Grzechca, y L. Chruszczyk, "Review of advanced driver assistance systems (ADAS)", en *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., 2017, DOI: 10.1063/1.5012394.
- [6] Fundación MAPFRE Canarias, "¿Qué son los Sistemas ADAS?". Fundación Mapfre. <https://www.fundacion-mapfre.org/educacion-divulgacion/seguridad-vial/sistemas-adas/que-son-los-sistemas-adas/>
- [7] B. Ben Elallid, N. Benamar, A. Hafid, T. Rachidi, y N. Mrani, "A Comprehensive Survey on the Application of Deep and Reinforcement Learning Approaches in Autonomous Driving", *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*,



- vol. 34, no. 9, 2022, DOI: 10.1016/j.jksuci.2022.03.013.
- [8] P. Torino y S. Ballesio, "Artificial Intelligence Controls for Vehicle Emergency Maneuvering", *Engineering, Computer Science*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:236911951>
- [9] Expansión. "Un choque de un Tesla, aparentemente sin conductor deja dos personas fallecidas". Expansion.mx. <https://expansion.mx/tecnologia/2021/04/18/choque-tesla-dos-personas-fallecidas>
- [10] R. Fidalgo. "8 ADAS obligatorias en los coches desde julio de 2022". Autocasion.com. <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/8-adas-obligatorias-en-los-coches-a-partir-de-julio-de-2022>
- [11] *Dispositivos de seguridad para vehículos ligeros nuevos-Requisitos y especificaciones, NOM-194-SE-2021*, Gobierno de México, 3 de octubre de 2022. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5666804&fecha=03/10/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5666804&fecha=03/10/2022#gsc.tab=0)
- [12] I. Zamarrón. "Así operan los semáforos inteligentes en la capital". El Sol de México. <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/asi-operan-los-semaforos-inteligentes-en-la-capital-3287849.html>
- [13] S. Cantera. "¿Buscas estaciones de recarga para autos eléctricos?". El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/buscas-estaciones-de-recarga-para-autos-electricos-google-maps-te-dice-donde/>
- [14] D. Luna. "Estas son las ciudades con cobertura Telcel 5G". Expansión. <https://expansion.mx/tecnologia/2022/02/22/cobertura-telcel-5g-mexico>
- [15] Instituto Mexicano del Transporte. "Representación cartográfica en formato digital y georreferenciada de la red nacional de caminos". Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>
- [16] M. García, "México produciría 193 mil vehículos eléctricos al cierre de 2023: Directorio Automotriz". Cluster industrial. <https://www.clusterindustrial.com.mx/noticia/6697/mexico-produciria-193-mil-vehiculos-electricos-al-cierre-de-2023-directorio-automotriz>



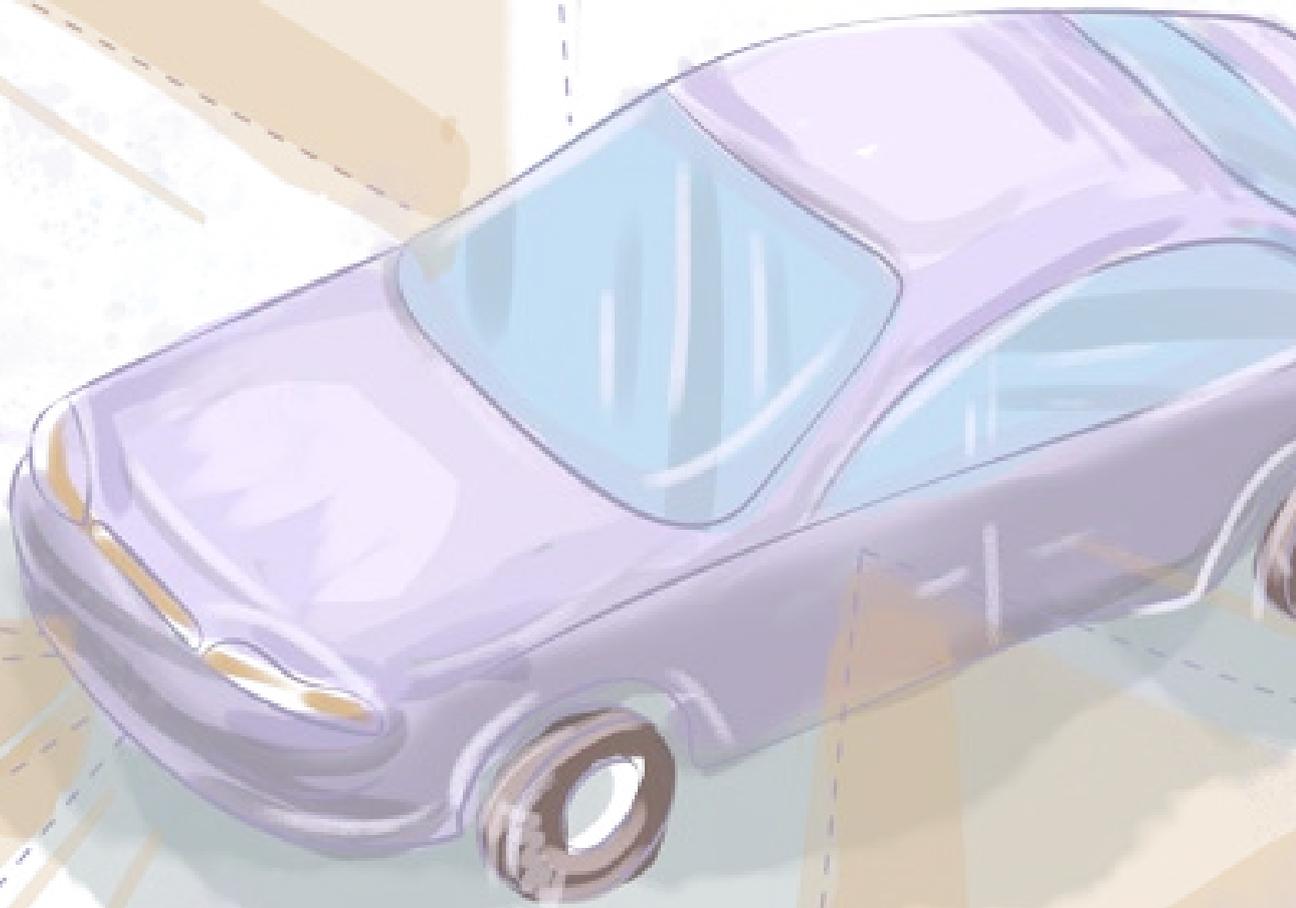
- [17] Statista Research Department. "Número de vehículos eléctricos e híbridos vendidos en México desde 2016 a 2022". Statista.com. <https://es.statista.com/estadisticas/1114981/volumen-ventas-vehiculos-electricos-hibridos-mexico/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%20e%20h%C3%ADbridos%20vendidos,de%20este%20tipo%20de%20autom%C3%B3viles%20registrado%20en%202021>
- [18] S. Ortiz, "Tesla is changing the sensors in its cars. Here is why you should care," ZDNET. <https://www.zdnet.com/article/tesla-removed-its-ultrasonic-sensors-from-its-cars-what-does-that-mean-for-your-tesla-vehicle-your-safety-and-teslas-future/>
- [19] C. Thompson. "There's one big difference between Google and Tesla's self-driving car technology," Business insider. <https://www.businessinsider.com/difference-between-google-and-tesla-driver-less-cars-2015-12?r=MX&IR=T>
- [20] Waymo, "How our cars drive." Support.google.com <https://support.google.com/waymo/answer/9190838?hl=en>
- [21] Comunicación de prensa Audi, "Jornadas Técnicas conducción pilotada". Prensa Audi. <http://prensa.audi.es/wp-content/uploads/2017/09/Dossier-A8-AI-traffic-jam-pilot.pdf>
- [22] J. L. Omeñaca, "Los ADAS alcanzarán los 83 mil millones de dólares para 2030". Valenciacars. <https://valenciacars.blogspot.com/2024/01/adas-2030-mercado.html>
- [23] I. Scully, S. Scally, y R. Clark. "Safety and Regulatory Considerations of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)". American Bar Association. [https://www.americanbar.org/groups/tort\\_trial\\_insurance\\_practice/committees/automobile-litigation/safety\\_regulatory\\_considerations/](https://www.americanbar.org/groups/tort_trial_insurance_practice/committees/automobile-litigation/safety_regulatory_considerations/)
- [24] I. Zamarrón. "Nearshoring en México: estos son los beneficios que podría obtener el país a 2030". Forbes. <https://www.forbes.com.mx/nearshoring-en-mexico-estos-son-los-beneficios-que-podria-obtener-el-pais-a-2030/>



[25] Gobierno de México. "La Inversión Extranjera Directa en México sumó 31.6 mil millones de dólares en 2021". Gobierno de México. <https://www.gob.mx/shcp/gacetaeconomica/articulos/la-inversion-extranjera-directa-en-mexico-sumo-31-6-mil-mdd-en-2021>

[26] W. Bernhart y M. Winterhoff, "Autonomous Driving: Disruptive Innovation that Promises to Change the Automotive Industry as We Know It", en *Energy Consumption and Autonomous Driving*, 2016, pp. 3-10, DOI: 10.1007/978-3-319-19818-7\_1

[27] Fundación Mapfre. "ADAS system regulations". Fundaciónmapfre.org. <https://www.fundacionmapfre.org/en/education-outreach/road-safety/adas-systems/what-are-adas-systems/adas-systems-regulations/>





UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE QUERÉTARO