

DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO DE SISTEMAS AVANZADOS DE ASISTENCIA A LA CONDUCCIÓN (ADAS) PARA LA GENERACIÓN Z: UN ENFOQUE INTERCULTURAL ENTRE FRANCIA Y CHINA.

Juan Andres Vidal Lara

1Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

2École des Ponts, d.school Paris, Francia

3Tongji University, College of Design and Innovation, China

RESUMEN

El informe presenta el proyecto ADAVISE, que desarrolla una solución integral para mejorar la comprensión y el uso de los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) dirigida especialmente a la generación Z en los mercados francés y chino. Esta solución global combina componentes y aprendizajes de ambos mercados para ofrecer una experiencia unificada que atiende a distintas necesidades culturales y tecnológicas.

El pilar de la solución es la avanzada interfaz desarrollada para el mercado francés. Esta consta de un volante con ocho botones multifuncionales sin iconografía fija, apoyados por una pantalla HUD que muestra en tiempo real las funciones activas y las opciones disponibles, permitiendo una interacción intuitiva y segura sin desviar la atención del conductor. Este diseño simplificado facilita el acceso y control de las asistencias, reforzado por tutoriales personalizados que guían a los usuarios según su perfil y nivel de experiencia, consolidando un aprendizaje por experiencia directa y promoviendo la confianza en el uso de ADAS.

Paralelamente, el componente lúdico y social inspirado en el mercado chino, basado en la plataforma ADAFARM, se integra para añadir motivación y compromiso constante. Los usuarios acumulan “Vcoins” a través del uso efectivo de las asistencias que les permiten decorar y desarrollar una granja virtual. Esta función gamificada fomenta la educación continua, la interacción social y la competitividad positiva, amplificando la adopción y uso habitual de los sistemas.

En conjunto, el sistema ADAVISE combina lo mejor de ambos enfoques: la funcionalidad robusta y centrada en la experiencia de uso del diseño francés con la dimensión social y motivacional del prototipo chino. Esto permite una interacción holística que no solo simplifica el manejo y aprendizaje de ADAS, sino que también incentiva a los jóvenes conductores a integrarlos en su vida diaria, elevando la seguridad vial y el confort.

ABSTRACT

This report presents the comprehensive development and implementation of ADAVISE, an innovative approach to making Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) more intuitive and valuable for emerging generations of drivers in both France and China. Based on a user-centric design thinking methodology, the project was structured into three phases: inspiration, iteration, and implementation. Insights from qualitative and quantitative user studies revealed distinct attitudes, trust issues, and interface challenges across both markets. The French context highlighted the need for confidence-building and simplification, leading to a reimagined steering wheel with intuitive controls and dynamic tutorials. In the Chinese context, the gamification of ADAS, embodied in ADA-FARM—a virtual farm where driving habits are rewarded—proved essential for fostering engagement and social connectivity. The final solution integrates personalized recommendations, real-time feedback, and interactive learning modules within the vehicle interface, while seamlessly adapting to cultural expectations. This dual-market approach demonstrates the significance of context-driven innovation and iterative user feedback in enhancing the acceptance and effective use of automotive technology. The report also addresses the business, technical, and community-building aspects critical for scalable impact in rapidly evolving automotive sectors.

Keywords: Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), driver experience, user-centered design, human-machine interaction, automotive innovation, gamification, digital engagement, cross-cultural design, driver behavior, interface simplification, tutorial integration, personalized driving, China automotive market, French automotive market, vehicle safety, driver education.

NOMENCLATURA

La siguiente es una lista de términos y acrónimos utilizados en el informe para facilitar la comprensión de los conceptos clave relacionados con los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) y el proyecto ADAVISE.

Nomenclatura Símbolo / Término	Definición / Significado
ADAS	Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción
ACC	Control de Crucero Adaptativo
LKA	Asistencia para Mantener el Carril
AEB	Frenado Automático de Emergencia
HUD	Pantalla de Visualización en el Parabrisas (Head-Up Display)
DMS	Sistema de Monitorización del Conductor (Driver Monitoring System)
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IA	Inteligencia Artificial
Vcoins	Monedas virtuales usadas en el juego para obtener recompensas con ADAS
Venergy	Energía virtual que representa la participación y experiencia acumulada en ADAS
Gamificación	Aplicación de mecánicas y dinámicas de juego en contextos no lúdicos
Valeo	Empresa líder en tecnología automotriz especializada en sistemas de asistencia
Cuestionario	Formulario breve para definir el perfil del usuario en función del conocimiento
Perfil del conductor	Conjunto de datos y preferencias del conductor para personalizar ADAS
Circuito de retroalimentación	Proceso constante de intercambio de información entre el usuario y el sistema
Figma	Herramienta de diseño y prototipado de interfaces interactivas
Arduino	Plataforma electrónica para control físico a través de microcontroladores
SolidWorks	Software profesional de diseño asistido por computadora (CAD) para modelado 3D
Fusion 360	Plataforma integrada CAD/CAM/CAE para diseño, simulación y fabricación digital

INTRODUCTION

1. Descripción del problema e integración del reto “How might we”.

En el contexto actual, los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) representan una innovación clave para mejorar la seguridad vial, el confort y la eficiencia en la experiencia de uso del automóvil. Sin embargo, la integración efectiva de estos sistemas con los conductores —especialmente con la generación emergente conocida como generación Z (nacidos aproximadamente entre 1997 y 2012)— presenta desafíos importantes. Este grupo posee una relación particular con la tecnología y con las nuevas formas de movilidad, demandando interfaces de control *ergonómicas*, simples, intuitivas y confiables para su interacción con componentes clave como el módulo de control de ADAS y su interfaz hombre-máquina (HMI). [1]

El problema central identificado radica en la brecha existente entre la complejidad técnica del sistema de control de los ADAS y la comprensión, confianza y adopción real por parte de los usuarios. Se detecta que los conductores confunden funcionalidades debido al lenguaje técnico excesivamente especializado y a la heterogeneidad de las interfaces entre fabricantes y modelos, lo que incrementa la desmotivación en su uso. Además, la enseñanza tradicional de la conducción no contempla instrucción suficiente sobre los asistentes electrónicos, fortaleciendo hábitos de resistencia ante la pérdida percibida de control y autonomía. [2] [3]

Dentro del componente seleccionado, se observa que el panel físico y digital de control de ADAS, compuesto por botones multifunción y menús de interfaz no estandarizados, carece de diferenciación visual y táctil clara. Esta falta de ergonomía incrementa la inseguridad al momento de activar o personalizar las asistencias, consolidando una baja confianza en el sistema. En entornos rurales, se añade la dificultad de que las funciones no están optimizadas para condiciones específicas, como el encuentro con fauna, generando experiencias negativas y rechazo. [4]

La comunicación entre el vehículo y el conductor se mantiene insuficiente y predominantemente unidireccional, afectando la percepción de utilidad y reduciendo la interacción. Este factor es clave al analizar contextos como el chino, donde la integración tecnológica cotidiana y el alto uso de plataformas sociales abren la posibilidad de incorporar gamificación y socialización en el sistema ADAS. Sin embargo, la adopción requerirá adaptar estos enfoques a condiciones culturales, expectativas sociales y

normativas locales, asegurando pertinencia y respeto por la privacidad. [5]

En este marco, el desafío planteado por Valeo se sintetiza en la formulación específica del reto de diseño del proyecto:

“How might we improve driving assistances to make them useful and intuitive for the drivers of tomorrow?”

(¿Cómo podemos mejorar los sistemas de asistencia a la conducción para hacerlos útiles e intuitivos para los conductores del mañana?).

Este ***“How might we?”*** dirige el proceso de co-creación e innovación, guiando la transformación del módulo de control de ADAS y su interfaz HMI hacia una herramienta accesible y confiable que responda a la experiencia y expectativas de los jóvenes conductores. El diseño debe simplificar la interacción, proporcionar experiencias personalizadas de aprendizaje y generar confianza progresiva en su funcionalidad, considerando además la diversidad cultural y social entre mercados.

En definitiva, resolver este reto implica:

- Entender y reducir la complejidad perceptual: evitando tecnicismos, mejorando iconografía y unificando estándares de interfaz.
- Fomentar la confianza y autonomía: mediante orientación educativa, retroalimentación sensorial y adaptabilidad a perfiles individuales.
- Incorporar elementos motivadores: gamificación, socialización y recomendaciones contextuales para incentivar adopción continua.
- Atender escenarios específicos: desde entornos urbanos hasta carreteras rurales, con funciones adaptadas.
- Generar comunicación bidireccional clara: para que el vehículo informe sobre sus acciones y planes anticipándose al conductor.

Abordar el ***“How might we?”*** desde esta visión permite cerrar la brecha entre tecnología y usuario, proyectando una experiencia segura, eficiente y amigable para la generación Z y siguientes. La aproximación integra una comprensión profunda de expectativas, necesidades y barreras, simplificando la interacción con el sistema y módulo de control ADAS, fortaleciendo la confianza mediante educación continua y

retroalimentación personalizada, e incentivando la adopción a través de elementos lúdicos y sociales. Con ello se facilita una transición fluida hacia la movilidad asistida y automatizada, garantizando que la tecnología se adapte al conductor y no al revés, contribuyendo así a la reducción de accidentes y a un manejo responsable y conectado. [6] [2]

Justificación de la Problemática

La rápida evolución tecnológica en el sector automotriz ha convertido los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) en elementos clave para la seguridad vial, el confort y la eficiencia operativa de los vehículos modernos. Sin embargo, la existencia de barreras significativas en la aceptación, comprensión y uso efectivo de estos sistemas por parte de los usuarios finales, especialmente en la generación Z, revela una problemática compleja que exige atención multidisciplinar. Este segmento poblacional, conformado por individuos nacidos desde 1997 hasta 2012, destaca por un alto nivel de familiaridad digital, pero a la vez por una marcada exigencia de interfaces intuitivas y experiencias de usuario consistentes. [8]

La principal dificultad se sitúa en la brecha perceptual respecto a la sofisticación técnica de los ADAS. Muchas funciones presentan nomenclaturas técnicas y lógicas operativas heterogéneas entre modelos y fabricantes, que provocan confusión y frustra el proceso de adopción incluso entre los usuarios más tecnológicamente preparados. Estudios recientes demuestran que los jóvenes conductores tienden a identificar los sistemas asistentes como complejos y poco amigables si sus interfaces no son visual ni verbalmente claras. De hecho, los errores por “mode confusion” en los sistemas de automatización pueden incrementar el riesgo de incidentes por fallos en la interpretación del estado y capacidad real del vehículo. [2]

Por otra parte, existe una falta de capacitación específica en los procesos de formación de conductores que aborde los principios operativos y limitaciones de los ADAS, lo que puede crear situaciones de baja confianza y uso incorrecto en contextos críticos, especialmente durante maniobras de evasión o en carreteras rurales. Según Rodak et al., alrededor del 24% de los conductores admiten no saber utilizar los sistemas presentes en sus vehículos y hasta el 77% de los nuevos usuarios aprende mediante prueba y error, lo que eleva el riesgo y reduce el potencial de seguridad de las tecnologías implementadas. [3]

El diseño actual de los comandos físicos y lógicos de los ADAS, usualmente con botones multifunción de difícil identificación táctil y visual, limita la personalización y manipulación confiable

del sistema, generando inseguridad e inhibiendo la autonomía y el compromiso activo del conductor. Investigaciones en ergonomía e interacción humano-máquina coinciden en que la simplificación, estandarización y el refuerzo de los canales sensoriales (visual y auditivo) en las interfaces reduce los niveles de error y aumenta la satisfacción y confianza del usuario joven. [9]

La problemática se agrava ante la insuficiente comunicación bidireccional entre el vehículo y el conductor, fenómeno especialmente crítico en contextos de alta digitalización social como el mercado asiático, donde la gamificación y la integración de incentivos sociales pueden potenciar la adopción, pero requieren un ajuste cultural preciso para mantener la relevancia y asegurar la privacidad de datos. [5]

Diversos estudios en la literatura coinciden en que la superación de estos retos exige una reestructuración de los paradigmas de diseño y capacitación en la ingeniería automotriz, orientada a la estandarización de interfaces, incorporación de feedback sensorial dinámico, adaptación contextual de las funcionalidades y comunicación proactiva centrada en la construcción progresiva de confianza y comprensión. Solo así se logrará una integración genuina y responsable de las tecnologías ADAS en la movilidad futura, potenciando la seguridad, la autonomía y el bienestar de los conductores más jóvenes. [7]

Objetivos

Los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto de diseño de una solución interactiva para Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) orientada a la generación Z se presentan a continuación.

1.1. Objetivos Generales

Diseñar una solución tecnológica innovadora, accesible y culturalmente adaptable que mejore la usabilidad, comprensión y confianza de los conductores jóvenes en los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS), mediante la aplicación de metodologías de diseño centrado en el usuario para fortalecer la seguridad vial y la eficiencia en la conducción.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis comparativo del comportamiento, expectativas y barreras de adopción de los ADAS en usuarios jóvenes en contextos culturales distintos

(Francia y China), mediante metodologías cuantitativas.

- Definir los requerimientos funcionales, mecánicos, interacción del sistema y sostenibilidad en el diseño.
- Desarrollar conceptos de diseño de la solución interactiva, integrando criterios ergonómicos, perceptuales aplicados al módulo de control y su interfaz hombre-máquina (HMI).
- Construir modelos digitales, planos técnicos y prototipos físicos de la solución propuesta que garanticen su trazabilidad en el tiempo de desarrollo.
- Implementar y validar el funcionamiento del sistema a través de pruebas de interacción, medición de percepción de usabilidad y análisis de confianza de los usuarios jóvenes frente a las asistencias a la conducción.

Marco teórico y estado del arte

Los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS) comprenden un conjunto de tecnologías integradas orientadas a asistir al conductor y mejorar la seguridad vial mediante la reducción de errores humanos. Sus principales funciones incluyen Control Adaptativo de Crucero (ACC), Frenado Autónomo de Emergencia (AEB), Asistencia en Mantenimiento de Carril (LKA), Detección de Objetos y Peatones, Monitoreo del Punto Ciego y Reconocimiento de Señales. Estas funciones se soportan en sensores como cámaras, radares y LIDAR, que alimentan algoritmos de detección y reacción rápida ante riesgos presentes en el entorno vehicular. Plataformas industriales líderes, como Mobileye, proveen soluciones modulares destinadas a optimizar la interoperabilidad entre fabricantes y mejorar la seguridad mediante integración escalable.

Desde la perspectiva de la ingeniería mecánica, la incorporación de estos sistemas plantea retos en términos de **diseño estructural de soporte, modularidad e integración física con sistemas tradicionales**. El módulo ADAS debe adaptarse al espacio disponible en el habitáculo, cumplir los requisitos de amortiguación ante vibraciones, y garantizar la compatibilidad electromecánica con la red del vehículo. Estas condiciones exigen **diseños portables y sostenibles**, aplicando criterios de distribución de masa, disipación térmica y facilidad de mantenimiento.

La adopción y uso efectivo de los ADAS enfrentan barreras significativas en la interacción humano-máquina debido a la complejidad de las interfaces, la diversidad tecnológica y la insuficiencia de formación de los usuarios. Terminología técnica, menús poco intuitivos y la falta de estandarización generan confusión y desconfianza, llevando a una desactivación frecuente de funciones críticas. Complementariamente, la

ergonomía mecánica del tablero, la ubicación de mandos y la respuesta háptica de los elementos de control influyen directamente en la aceptación y reacción del conductor.

Normativas, Estándares y Diseño de Cabinas Vehiculares

- **ISO 15005:2017** establece principios de ergonomía y usabilidad para la interacción hombre-máquina (HMI) en vehículos, incluyendo organización lógica, presentación clara y jerarquías visuales en sistemas TICS. [10]
- **Reglamento (UE) 2018/858** regula la homologación y vigilancia del mercado de vehículos de motor en la Unión Europea, estableciendo requisitos técnicos y de seguridad para sistemas como volante, airbags y controles, con el fin de garantizar la protección efectiva de los ocupantes. Esta normativa armoniza los criterios técnicos de homologación para vehículos de transporte de pasajeros y mercancías, asegurando un alto nivel de seguridad mediante estándares basados en reglamentos internacionales/. [11]
- **Code of Practice (CoP) for ADAS** contiene directrices de seguridad activa que orientan la integración y prueba de sistemas para mantener un equilibrio entre control automático y capacidad de intervención humana. [12]
- La **ISO 26262** es una norma internacional derivada de la **IEC 61508**, adaptada específicamente a la industria automotriz. Su objetivo principal es garantizar la **seguridad funcional** de todos los sistemas eléctricos y electrónicos que intervienen en el control de funciones críticas del vehículo, como dirección, frenado, aceleración y, especialmente, los **sistemas ADAS** (Advanced Driver Assistance Systems). [17]
- La normativa **UNECE R79** es un reglamento de la Comisión Económica para Europa (UNECE) que regula los sistemas de **equipamiento de dirección para vehículos**, con especial énfasis en el desarrollo y homologación de sistemas de dirección automatizada y asistida, incluyendo la dirección electrónica y sistemas de dirección sin vínculo mecánico tradicional entre volante y ruedas. [18]
- La **ISO 16750** establece los requisitos ambientales y mecánicos asociados a vibración, temperatura y condiciones eléctricas de los componentes integrados en el vehículo, siendo clave para el diseño estructural de las unidades ADAS. [19]

Estas regulaciones aseguran que los elementos de cabina y soporte estructural cumplan criterios de visibilidad, accesibilidad, amplitud de movimiento y confort postural, sin desviar la atención del conductor. La **Figura 1** ilustra un esquema de dimensiones ergonómicas básicas en diseño de cabina conforme ISO 15005.

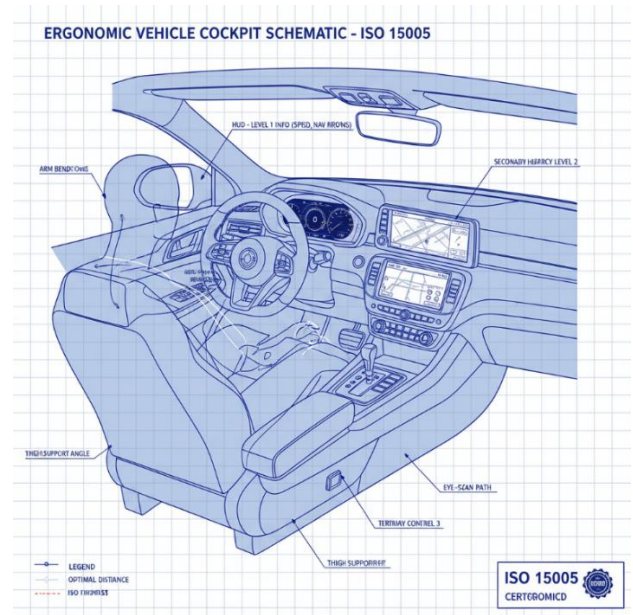


Figura 1. Esquema de dimensiones ergonómicas básicas en diseño de cabina conforme ISO 15005 [10]

Tendencias de innovación en diseño y usabilidad

- **Head-Up Display (HUD):** Sistemas que proyectan información crítica en el campo visual del conductor, reduciendo la distracción y mejorando tiempos de reacción ante alertas importantes.
- **Reducción y Simplificación de Controles:** Innovaciones en diseño minimalista incluyen la concentración de múltiples funciones bajo pocos botones multifuncionales con soporte visual desde el HUD para mejorar el aprendizaje y reducir errores.

- **Alertas Contextuales y Multicanales:** Integración de señales visuales, auditivas y hápticas adaptadas al contexto y perfil del conductor, optimizando la aceptación y reduciendo falsas alarmas.
- **Gamificación:** Plataformas que convierten la interacción con ADAS en experiencias lúdicas y sociales, incentivando un uso repetido y responsable mediante sistemas de recompensas.
- **Detección Combinada del Estado del Conductor:** La fusión de sensores para evaluar fatiga, atención y postura, permitiendo ajustes dinámicos en el sistema para mantener la seguridad y confianza.
- **Metodologías Iterativas y Centrado en el Usuario:** Incorporación del Design Thinking y pruebas pilotos continuas para adaptar los sistemas a requisitos reales y culturalmente diversos.

Gamificación y Motivación Social para Usuarios Jóvenes

Investigaciones recientes han propuesto modelos donde la gamificación fortalece el aprendizaje y el uso continuado de ADAS. En *Journal of Intelligent Transportation Systems* (Hsieh et al., 2022) [14], se describe un sistema que combina recompensas digitales, competencias entre usuarios y comunidades en línea para generar hábitos de conducción segura, evidenciando una mayor retención y adopción de tecnologías.

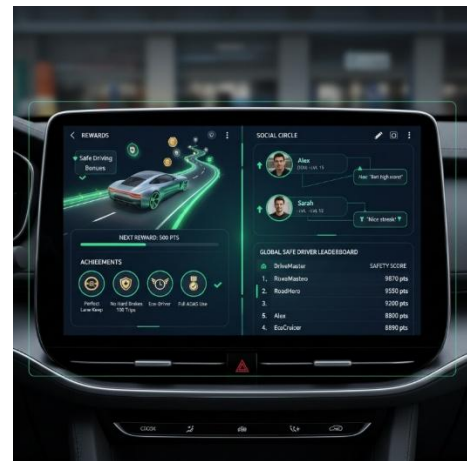


Figura 3. Plataforma gamificada para ADAS con elementos sociales y recompensas [14]

Soluciones Documentadas en la Literatura Global: Ejemplos y Aplicaciones

Interfaz Adaptativa para Reducción de Fatiga y Aumento de Confianza

Un estudio publicado en *Human Factors* (Dixon et al., 2019) [13] demostró que interfaces adaptativas que ajustan la información visible y los métodos de alerta según el estado del conductor (fatiga, atención) y condiciones ambientales aumentan significativamente la confianza y reducen la sobrecarga cognitiva.



Figura 2. Ejemplo de interfaz adaptativa para ADAS con múltiples canales de retroalimentación [13]

Integración Modular y Convivencia con Sistemas Tradicionales

Según el *IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (Gauerhof et al., 2015) [15], un enfoque modular permite integrar sistemas ADAS escalablemente en vehículos heterogéneos, facilitando la coexistencia de tecnología avanzada con controles tradicionales. La arquitectura permite personalización para distintos perfiles y mercados, maximizando la interoperabilidad y facilidad de uso.

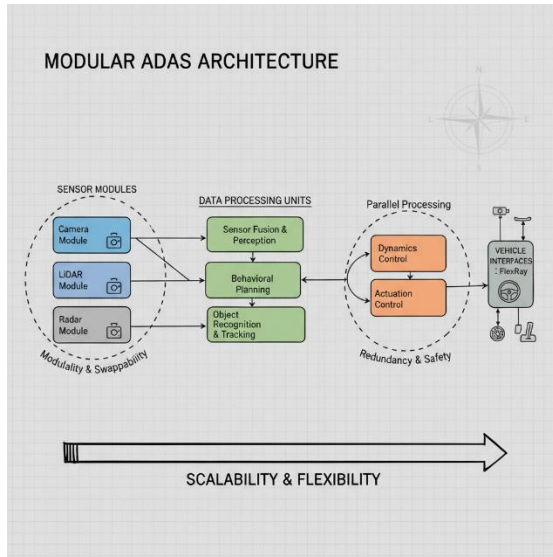


Figura 4. Arquitectura modular para integración escalable de ADAS [15]

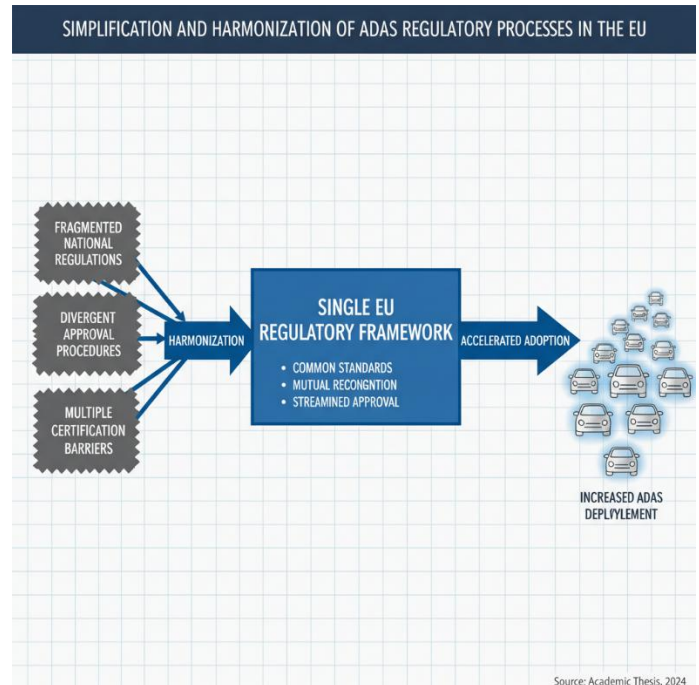


Figura 5. Proceso de Simplificación y Armonización Regulatoria para la Aceleración de la Adopción de ADAS en la Unión Europea. [16]

Marco Regulatorio Unificado para Facilitación y Aceleración del Despliegue de ADAS en la UE

Simplificación y armonización regulatoria para acelerar la adopción de ADAS. Un informe de DIGITALEUROPE (2025) [16] propone una solución enfocada en simplificar y armonizar las regulaciones para la homologación y el despliegue de sistemas ADAS en toda la Unión Europea. Esta estrategia busca eliminar barreras administrativas descentralizadas, creando un marco único que facilite la autorización de pruebas y el lanzamiento comercial de estos sistemas en vehículos nuevos. Al unificar los procesos regulatorios, se espera acelerar significativamente la adopción de tecnologías ADAS, reducir costos para fabricantes y promover una mayor interoperabilidad entre sistemas, aumentando así la penetración efectiva de estas tecnologías en el mercado europeo.

Formación y Capacitación para el Uso Responsable y Seguro de ADAS

Capacitación y formación del conductor para mejorar el uso efectivo de ADAS. En un estudio publicado en *Archives of Transport* (Rodak, 2023) [3], se identifica que una barrera clave para el uso correcto de ADAS en Europa es la falta de capacitación adecuada entre los conductores. La solución propuesta consiste en actualizar los cursos de formación vial para incluir el manejo, beneficios y limitaciones de los sistemas ADAS, junto con campañas de concienciación pública. Esto reduce la resistencia al cambio y aumenta la confianza del usuario en estas tecnologías, promoviendo un uso más responsable y seguro de los sistemas avanzados de asistencia al conductor.

Framework for ADAS Adoption

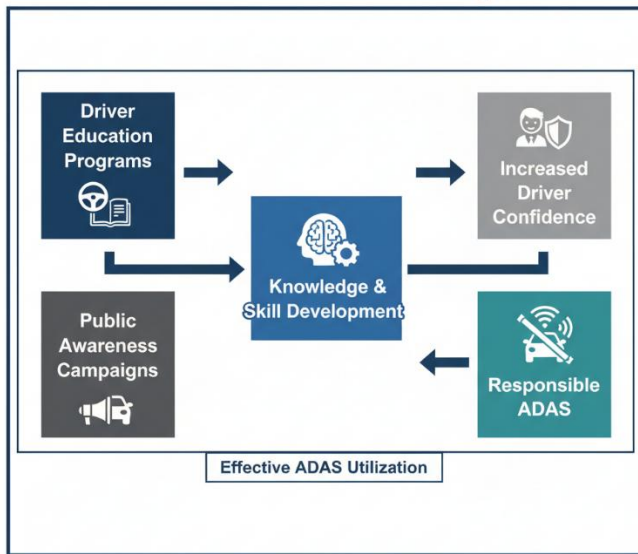


Figura 6. Programas de Capacitación y Concienciación para el Uso Responsable y Seguro de ADAS. [3]

Diseño modular en la estructura soporte para sistemas ADAS

El diseño modular aplicado a la estructura soporte de módulos ADAS es un enfoque clave para incrementar la flexibilidad, escalabilidad y facilidad de mantenimiento de estos sistemas en vehículos modernos. A nivel mecánico, el modularidad permite desarrollar componentes físicos estandarizados que pueden integrarse en múltiples plataformas vehiculares sin necesidad de rediseños estructurales completos. Este principio facilita la portabilidad del sistema, reduce costos de producción y mejora la adaptabilidad a distintos modelos y segmentos de mercado.

Estudios recientes destacan la importancia de diseñar marcos y carcasas modulares que incorporen amortiguadores de vibración integrados y disipadores térmicos adaptativos para proteger los circuitos electrónicos sensibles. Además, se promueve el uso de conectores eléctricos y mecánicos universales que simplifican la instalación y el reemplazo de componentes, reforzando la sostenibilidad mediante la facilidad de actualización tecnológica y reparación.

Esta estrategia también favorece la implementación de sistemas multifuncionales en un mismo módulo, optimizando el espacio interno del vehículo y mejorando la robustez mecánica ante

condiciones ambientales adversas. Así, el diseño modular desde la ingeniería mecánica contribuye de forma directa a la durabilidad, interoperabilidad y ciclo de vida extendido del sistema ADAS. [28]

Integración sostenible y portabilidad de componentes mecánicos en sistemas ADAS

La integración sostenible en la ingeniería mecánica para sistemas ADAS implica desarrollar estructuras y componentes que no solo cumplan con estrictos requerimientos funcionales, sino que también aporten a la reducción del impacto ambiental y faciliten la portabilidad entre diferentes vehículos.

Los diseños sostenibles se orientan al uso de materiales reciclables, ligeros y de alta resistencia mecánica, que minimicen el peso sin comprometer la integridad estructural ni la disipación térmica. La portabilidad se asegura mediante arquitecturas que contemplan tolerancias mecánicas estandarizadas, fijaciones universales y facilidad en la desconexión eléctrica y mecánica.

Además, la incorporación de tecnologías de fabricación avanzadas, como la impresión 3D con materiales compuestos y el modelado de elementos finitos para optimizar la resistencia a vibración y choque, permiten desarrollar soportes y carcasas que se adaptan con precisión al vehículo y a las demandas funcionales del sistema ADAS.

Este enfoque no solo mejora la eficiencia de producción y reduce costos, sino que también facilita la actualización tecnológica, el reciclaje y la reutilización de componentes, alineándose con objetivos globales de sostenibilidad en la industria automotriz. [29]

Estándares y Validación internacional de Usabilidad y Seguridad

El cumplimiento de normas **ISO 26262**, **ISO 15005**, **UNECE R79**, **FMVSS 135** (seguridad funcional y estructural), y el **Code of Practice (CoP for ADAS)** representa una exigencia imprescindible para la validación técnica y legal de los sistemas. Estudios como los de ACEA (2009) y UNECE (2011) refuerzan la necesidad de pruebas en simuladores y escenarios reales para certificar la seguridad mecánica, electrónica y la aceptación del conductor. Estas validaciones garantizan la portabilidad del diseño, la durabilidad del soporte estructural y la adecuada integración entre componentes mecánicos y electrónicos.

METODOLOGÍA

En relación con los objetivos previamente establecidos, se llevaron a cabo las siguientes actividades para asegurar el desarrollo óptimo del proyecto.

1. Definición de especificaciones de Requerimientos

Con el propósito de establecer las especificaciones de requerimientos para el desarrollo del proyecto ADAVERSE, orientado a simplificar y hacer más intuitivos los sistemas de asistencia avanzada al conductor (ADAS) para la nueva generación de conductores, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se identificaron las necesidades y expectativas principales de los usuarios finales, específicamente conductores jóvenes entre 18 y 30 años, mediante la realización de entrevistas, encuestas y estudios etnográficos en los mercados francés y chino. Esto permitió comprender sus comportamientos, dificultades y niveles de confianza respecto al uso de ADAS.
- Se analizaron las características técnicas actuales de los sistemas ADAS y su interfaz de usuario en vehículos modernos, evaluando aspectos clave como la usabilidad, la comunicación hombre-máquina, la complejidad de controles y la falta de estandarización, para definir los requerimientos funcionales y de diseño necesarios que faciliten su adopción.
- Se exploraron y validaron mediante pruebas y prototipos iterativos distintas soluciones enfocadas en mejorar la interacción del usuario con sistemas ADAS, tales como la simplificación de controles físicos (reducción a 8 botones multifuncionales en el volante), el uso de pantallas HUD para mostrar información contextual, tutoriales interactivos y mecanismos de recomendación activados en función del contexto de conducción.
- Se incorporaron elementos de gamificación y socialización digital, adaptados particularmente al mercado chino, con el fin de fomentar la confianza, el aprendizaje y el uso habitual de ADAS mediante recompensas, interacción comunitaria y seguimiento de comportamientos de manejo.
- Se definieron requisitos para asegurar la seguridad, privacidad de los datos, facilidad de integración con

diferentes marcas de vehículos, y la escalabilidad del sistema, fundamentándose en estándares tecnológicos y regulatorios vigentes.

2. Requerimientos de diseño

Los requerimientos para el desarrollo del proyecto de diseño del sistema ADAS para ADAVERSE se presentan a continuación.

a) Requerimientos del Cliente

- **No modificar el diseño interior del cockpit del automóvil**, manteniendo la integridad estética y funcional del espacio según estándares actuales, sin introducir cambios invasivos en los componentes visibles o estructurales.
- **No alterar la funcionalidad de los sistemas ADAS existentes**, respetando el diseño técnico y las capacidades originales de estas asistencias para la conducción, garantizando que la solución funcione en armonía con los sistemas ya certificados.
- La solución **no debe basarse exclusivamente en la interacción mediante asistencia por voz**, sino que debe incluir otros métodos de interacción complementarios o alternativos para asegurar usabilidad y accesibilidad.
- La solución **no debe ser solamente una inteligencia artificial como método de interacción con el conductor**, debiendo integrar interfaces o elementos físicos tangibles que faciliten la interacción humana-máquina.
- La solución debe cumplir las **normativas de seguridad y diseño aplicables a la industria automotriz**, tales como:
 - **ISO 26262**: Seguridad funcional de los sistemas eléctricos y electrónicos en vehículos de carretera. [17]
 - **UNECE R10**: Reglamentos para la compatibilidad electromagnética. [18]
 - **UNECE R79**: Disposiciones técnicas para el sistema de control de velocidad de vehículos. [19]
 - **Normativas específicas de cada país o región** para certificación y homologación de equipamientos, garantizando la viabilidad e integración segura en la red vehicular.

- La solución debe ser **compatible y adaptable para su implementación en cualquier fabricante de vehículos**, considerando distintas marcas, modelos y arquitecturas electrónicas, asegurando escalabilidad y estandarización.

b) Requerimientos Mecánicos

1. Facilidad de fabricación

- Se emplearán técnicas y materiales que permitan reducción de costos y facilidad de fabricación.

2. Portabilidad y restricciones de transporte

- El dispositivo debe ser **portátil y adaptado al transporte aéreo**, específicamente optimizado para ser transportado como equipaje de mano o facturado.
- **Equipaje de mano:** El tamaño máximo permitido debe ser de 55 cm (largo) × 35 cm (ancho) × 25 cm (alto), con peso máximo de 12 kg por pieza, para cumplir con las normativas de aerolíneas internacionales (ejemplo: Air France). [20]
- **Equipaje facturado:** En caso de envío como equipaje facturado, las dimensiones máximas deben ser ≤ 158 cm en suma (largo + ancho + alto) y peso límite ideal de 23 kg, con una tolerancia hasta 32 kg bajo pagos extras, conforme a regulaciones comunes. [20]

3. Capacidad de Reensamblaje

- El dispositivo debe ser modular, permitiendo montaje y desmontaje fácil sin herramientas especializadas.
- Los elementos desmontables deben ser seguros y resistentes para evitar daños durante el transporte o en repetidas manipulaciones.

4. Materiales sostenibles

- La fabricación del dispositivo debe garantizar el uso de materiales reciclables y reutilizables, cumpliendo con las políticas corporativas de sustentabilidad y reducción

del impacto ambiental, además de respetar las normativas de reciclaje vigentes en Japón, país donde se presentó el proyecto, asegurando que los materiales sean fácilmente reciclables y que el diseño facilite la separación para su adecuado reciclaje al final de su vida útil. [21] [22] [23] [24]

- Estos materiales deben mantener las propiedades mecánicas esenciales para durabilidad y seguridad funcional.

5. Robustez

- A pesar de la portabilidad y modularidad, la estructura debe resistir manipulaciones frecuentes, impactos leves, vibraciones y variaciones térmicas habituales en el transporte y uso diario.
- Se debe asegurar integridad mecánica ante las condiciones normales de manipulación en aeropuertos y durante almacenamiento.

6. Ligereza

- El peso máximo de la unidad (o unidades indivisibles para transporte) debe evitar sobrepeso y garantizar facilidad de manejo para los usuarios.

Diseño Conceptual

Para el desarrollo del diseño conceptual del sistema ADAS para el proyecto ADAWISE, se partió de una exhaustiva identificación de las necesidades y expectativas de los usuarios, basadas en investigación de campo, entrevistas y encuestas realizadas a la generación emergente de conductores en Francia y China. Esta información fue complementada con una revisión bibliográfica de tecnologías y soluciones existentes relacionadas con sistemas avanzados de asistencia a la conducción (ADAS).

Se aplicaron metodologías propias del Diseño de Ingeniería Mecánica, tales como la **Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**, para cuantificar y priorizar las funcionalidades y requerimientos del diseño, asegurando una apropiada alineación entre las necesidades del usuario y las capacidades técnicas. Estas herramientas permitieron objetivar criterios de diseño y seleccionar las mejores alternativas en función de múltiples variables y restricciones.

Además, se incorporaron métodos de evaluación cuantitativa y cualitativa propios del campo, como el análisis multicriterio y técnicas de optimización para validar propuestas y medir

resultados anticipados del diseño. Paralelamente, se siguieron las fases del **Design Thinking**, integrando un enfoque centrado en el usuario que involucró la empatía, la definición y reformulación del problema, la generación iterativa de ideas, la creación de prototipos y la validación con usuarios finales.

En la fase de ideación se utilizó la colaboración interdisciplinaria entre ingenieros y diseñadores para desarrollar propuestas innovadoras que equilibran la facilidad de uso, la seguridad y la adaptabilidad cultural, atendiendo a distintos perfiles de usuario y contextos de manejo. Se diseñaron interfaces simplificadas con retroalimentación visual en el HUD, y métodos de interacción que reducen la carga cognitiva del conductor.

El concepto quedó representado mediante modelos funcionales, prototipos interactivos y diagramas de flujo de interacción, los cuales integran hardware, software y mecanismos de gamificación, particularmente efectivos para motivar la adopción y el aprendizaje progresivo de las tecnologías ADAS.

Proceso Analítico Jerárquico

1. Introducción

El análisis y la selección de las soluciones propuestas para el diseño y la mejora del sistema ADAS en este proyecto fueron sustentados en un proceso estructurado y riguroso basado en el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Este enfoque permitió priorizar y jerarquizar de manera cuantitativa las diferentes alternativas de diseño, prototipos y funcionalidades desarrollados durante la fase iterativa del proyecto, considerando tanto aspectos técnicos como la experiencia del usuario y el contexto cultural.

El presente apartado describe las fases, criterios, herramientas y resultados obtenidos a partir de este proceso, que sustentó la toma de decisiones orientada a consolidar las soluciones con mayor valor agregado para el usuario final y factibilidad técnica.

2. Metodología de Jerarquización y Decisión de Prototipos

2.1 Fundamentación del AHP

El Proceso Analítico Jerárquico es un método de toma de decisiones multicriterio que permite descomponer un problema complejo en una estructura jerárquica de criterios y alternativas. Facilita la realización de comparaciones por pares y la asignación de prioridades basadas en escalas numéricas, comúnmente bajo la escala de Saaty (1–9). [25]

Este método reduce la subjetividad inherente a la evaluación de múltiples opciones, permitiendo integrar tanto criterios tangibles como intangibles y ofrecer una priorización rigurosa, transparente y reproducible [26] [27].

2.2 Definición de la jerarquía

- **Objetivo principal:** Seleccionar las soluciones óptimas para mejorar la experiencia y usabilidad del sistema ADAS, maximizando la adopción y la seguridad.
- **Criterios de evaluación:**
 - Impacto en la usabilidad: Evaluación de la simplicidad y facilidad de la interacción.
 - Resolución del problema: Capacidad para abordar eficazmente las necesidades identificadas.
 - Aceptación del usuario: Nivel de confianza y satisfacción.
 - Viabilidad técnica: Factibilidad de implementación y mantenimiento.
 - Adecuación cultural y contextual: Adaptabilidad a diferencias culturales y de mercado.
- **Alternativas:** Diferentes prototipos y diseños desarrollados, tales como el volante simplificado con HUD, notificaciones contextuales, tutorial interactivo gamificado, plataforma gamificada ADAFARM, entre otros.

2.3 Construcción de matrices de comparación

Se elaboraron matrices de comparación por pares para:

- Comparar la importancia relativa de cada criterio respecto al objetivo, basándose en juicios fundamentados en entrevistas, pruebas y análisis técnicos.
- Evaluar cada alternativa frente a cada criterio utilizando la misma escala de importancia.

2.4 Consistencia y validación

Para garantizar la coherencia de los juicios, se calcularon el índice de consistencia (CI) y el ratio de consistencia (CR) para cada matriz, siguiendo fórmulas estándar del método AHP. Solo se consideraron válidas aquellas matrices con $CR < 0.1$, asegurando la fiabilidad y transparencia del proceso [26].

2.5 Cálculo de prioridades y puntuación global

Mediante la normalización y síntesis de las matrices, se obtuvieron los vectores de prioridad para criterios y alternativas. Posteriormente, se combinaron para calcular la puntuación global de cada alternativa, que fundamentó la elección final.

3. Priorización de criterios

Criterio	Peso Relativo
Usabilidad	0.32
Resolución del problema	0.31
Aceptación del usuario	0.18
Viabilidad técnica	0.12

Criterio	Peso Relativo
Adecuación cultural	0.07

Los criterios con mayor peso fueron la usabilidad y la resolución del problema, confirmando que la simplicidad y eficacia en la satisfacción de las necesidades de los usuarios son prioritarias. La aceptación del usuario también destaca, seguida por factores técnicos y culturales.

3.1 Evaluación de alternativas

Alternativa	Usabilidad	Resolución Problema	Aceptación Usuario	Viabilidad Técnica	Adecuación Cultural	Puntuación Global
Volante simplificado + HUD	0.35	0.38	0.33	0.27	0.25	0.31
Notificaciones contextuales	0.28	0.30	0.29	0.32	0.28	0.29
Tutorial interactivo y gamificado	0.20	0.25	0.27	0.30	0.30	0.25
Plataforma gamificada ADAFARM	0.18	0.20	0.29	0.31	0.40	0.23
Plataforma de feedback comunitario	0.10	0.15	0.12	0.25	0.15	0.12

3.2 Matriz de comparación por pares de criterios (fragmento)

Criterios	Usabilidad	Resolución Problema	Aceptación Usuario	Viabilidad Técnica	Adecuación Cultural
Usabilidad	1	3	4	5	6
Resolución del problema	1/3	1	3	4	5

Criterios	Usabilidad	Resolución Problema	Aceptación Usuario	Viabilidad Técnica	Adecuación Cultural
Aceptación usuario	1/4	1/3	1	3	4
Viabilidad técnica	1/5	1/4	1/3	1	2
Adecuación cultural	1/6	1/5	1/4	1/2	1

3.3 Ejemplo de matriz de comparación de alternativas para criterio Usabilidad

Alternativa	Volante + HUD	Notificaciones	Tutorial gamificado	Plataforma ADAFARM	Feedback comunitario
Volante + HUD	1	3	4	5	7
Notificaciones	1/3	1	3	4	5
Tutorial interactivo	1/4	1/3	1	3	4
Plataforma gamificada ADAFARM	1/5	1/4	1/3	1	3
Feedback comunitario	1/7	1/5	1/4	1/3	1

3.4 Cálculo de puntuación global

El puntaje global de cada alternativa se calculó ponderando sus calificaciones por criterio con el peso relativo de este último, p. ej. para el Volante simplificado + HUD:

$$Puntaje = 0.35 \times 0.32 + 0.38 \times 0.31 + 0.33 \times 0.18 + 0.27 \times 0.12 + 0.25 \times 0.07$$

$$Puntaje = 0.31$$

3.5 Gráficos ilustrativos del análisis

Se incluyen gráficos que muestran:

- Pesos relativos de los criterios para ilustrar su importancia en la decisión.
- Rendimiento por criterio de cada alternativa, permitiendo una comparación visual clara.

- Puntuación global de las alternativas para facilitar la selección visual.

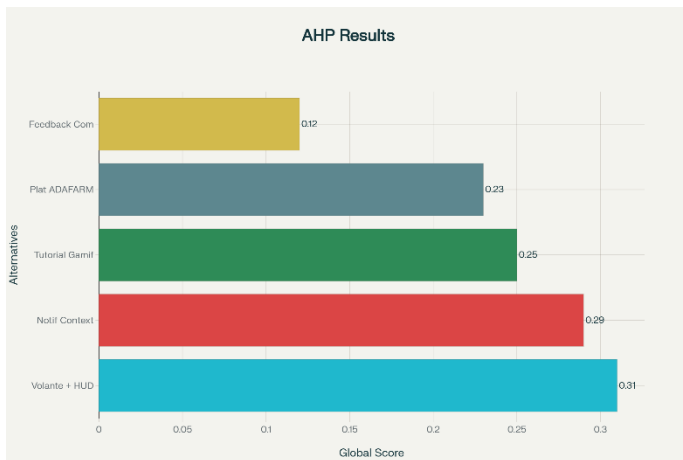


Figura 7. Visualización de pesos de criterios, puntajes por criterio de alternativas y puntuación global del AHP.

4. Reflexiones y conclusiones

El uso del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) validó que las iteraciones fundamentadas en la experiencia del usuario y en la validación empírica generan propuestas superiores y más ajustadas a las necesidades reales, en comparación con enfoques impuestos o poco flexibles. Se evidenció que las soluciones gamificadas y sociales requieren una adaptación cuidadosa a los contextos culturales para lograr un balance efectivo entre motivación y distracción, asegurando así el compromiso sostenido del usuario. La incorporación de un diseño de feedback adaptado, personalizado y claro emerge como un factor crítico para fomentar la confianza, la aceptación y el uso repetido de los sistemas ADAS.

De esta manera, el proceso AHP se consolidó como una herramienta metodológica eficaz, rigurosa y transparente, que permite priorizar soluciones tecnológicas complejas centradas en el usuario. Su estructura jerárquica clara y cuantificada facilitó una toma de decisiones integrada desde múltiples dimensiones técnicas y humanas, brindando soporte sólido para la consolidación de soluciones integrales, adaptativas y culturalmente pertinentes, esenciales para el éxito en contextos multidisciplinares y diversos.

Design Thinking

Proceso de Desarrollo, Prototipado y Selección de Soluciones Finales: De la Ideación al Usuario

1. Metodología y génesis de los prototipos

El proceso comenzó con una etapa de inspiración en la que se realizaron más de 30 entrevistas semiestructuradas, observaciones en contexto y análisis de mercado tanto en Francia como en China. El objetivo era identificar patrones de uso, bloqueos, expectativas y prioridades reales para los usuarios de ADAS. Tras mapear estos hallazgos se delinearón los **principales retos de diseño**: falta de confianza en ADAS, sobrecarga informativa, interfaz poco intuitiva, dificultad para diferenciar señales ADAS de infoentretenimiento y resistencia a la personalización forzada. En la **Figura 8**, se muestran múltiples pruebas realizadas a usuarios en diferentes contextos para obtener información de uso y prioridades al conducir.



Figuras 8. Sesiones de Entrevistas y pruebas de prototipos.

A partir de los insights, el equipo organizó sesiones de brainstorming con mapas mentales y técnicas colaborativas para maximizar la diversidad de ideas. Se adoptó el enfoque de **“Design Thinking”** para asegurar la empatía y relevancia en las propuestas, permitiendo que los conceptos evolucionasen rápidamente de lo abstracto a lo concreto a través de bocetos, storyboards y wireframes iterativos.

Los **mapas mentales** jugaron un rol fundamental dentro de esta metodología, ya que constituyen una herramienta visual que facilita la organización y conexión de ideas en torno a un tema central. En el contexto del Design Thinking, los mapas mentales

permiten plasmar de manera sistemática el pensamiento colectivo, fomentando la fluidez y diversidad creativa del equipo. Funcionan como guías que simplifican la comprensión del problema desde múltiples dimensiones, apoyando la identificación de patrones, relaciones y prioridades. Esta representación gráfica estimula la participación activa, la empatía hacia el usuario y la co-creación, elementos esenciales para el éxito del proceso iterativo.

En la **Figura 9**, se muestra el resultado de localizar a los usuarios en un mapa que enfrenta la voluntad de uso de sistemas ADAS versus la disponibilidad de estos sistemas en sus vehículos. Este mapeo visual ayuda a identificar segmentos de usuarios clave, sus motivaciones y barreras frente a la tecnología, que son indispensables para guiar la definición y priorización de soluciones.

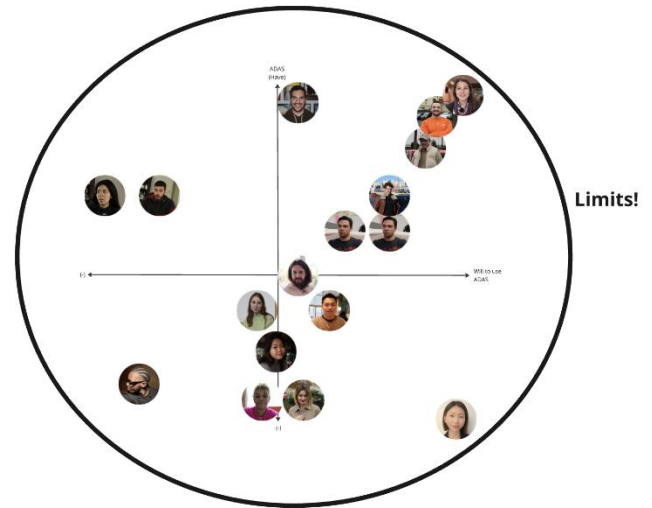


Figura 9. Mapeo de entrevistados dependiendo de su voluntad de uso v.s disponibilidad de ADAS.

En la **Figura 10**, se evidencia la categorización de estos usuarios basada nuevamente en el mapa voluntad de uso vs disponibilidad de ADAS, agrupándolos en clusters con características y necesidades similares. Esta segmentación soporta la personalización de propuestas y el diseño de estrategias de adopción específicas, fortaleciendo así la pertinencia y efectividad del proyecto dentro del marco del Design Thinking. De esta manera, los mapas mentales no solo estructuran el conocimiento del equipo, sino que también orientan la toma de decisiones centradas en el usuario, potenciando la innovación y la conexión emocional con las soluciones diseñadas.

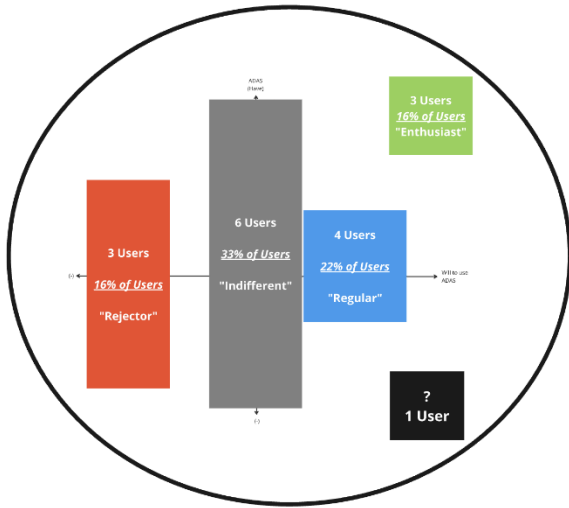


Figura 10. Clasificación de entrevistados en grupos focales dependiendo de su voluntad de uso v.s disponibilidad de ADAS.

2. Iteración, pruebas y evolución de prototipos

Cada solución fue prototipada inicialmente en baja fidelidad, utilizando paneles físicos, prototipos de botones, simulaciones digitales y juegos de roles, y validada en sesiones de co-creación para maximizar la interacción con los usuarios. Los usuarios aportaron feedback inmediato que resultó crucial para ajustar tanto la experiencia visual como funcional, priorizando la claridad, la personalización directa y la reducción de distracciones. Este proceso iterativo se representó claramente en la **Figura 10**, que muestra la línea de tiempo de prototipado y evolución de los diferentes prototipos desarrollados a lo largo del proyecto, evidenciando cómo cada versión integró aprendizajes y mejoras constantes basados en las pruebas y retroalimentación recibida.

Ejemplos de prototipos propuestos y su justificación:

- **Sistema de recomendaciones contextuales en el HUD y panel:** Surgió tras observar que la mayoría de usuarios ignoraba ADAS por no recibir notificaciones claras y oportunas. El prototipo integró recomendaciones visibles en la zona de visión directa, priorizando la seguridad y reacción rápida. El feedback fue abrumadoramente positivo por reducir la latencia de respuesta y evitar distracciones extensas.
- **Simuladores y tutoriales gamificados:** Ante la falta de confianza y la aversión a leer manuales extensos, se propusieron micro-tutoriales y simulaciones en la pantalla del vehículo que enseñan el uso de ADAS en menos de 1 minuto. Este prototipo incrementó significativamente la comprensión y motivación, según

pruebas cuantitativas con conductores jóvenes y rurales.

- **Gamificación social (ADA-FARM):** Basados en los hábitos de social gaming de usuarios chinos y el modelo WeRun, se diseñó una plataforma de recompensas, retos y logros interconectados, motivando ensayo, uso y recomendación entre pares, con controles para evitar sobreexposición y distracción.



Figura 10. Línea de tiempo de prototipado y evolución de prototipos.

3. Criterios para la selección de soluciones y eliminación de alternativas

Durante la validación, se emplearon métricas de valor/aceptación, tasa de éxito en tareas críticas, frecuencia de error, tiempos de reacción, y encuestas escaladas tipo Likert. Los criterios medidos incluyeron:

- Breve tiempo de aprendizaje (<1 min para funciones core)
- Alta aceptación (>70% según encuestas tras prueba de prototipo)
- Reducción de errores y dudas (>60% de mejora en tests post-feedback)
- Preferencia por soluciones que minimizan interacción complementar con info externa

Se descartaron las siguientes propuestas:

- **Feedback comunitario en tiempo real:** Aunque se testeó un sistema tipo “Waze-ADAS”, los usuarios lo percibieron como causa de ansiedad e información excesiva, además del riesgo de distracción. Fue despriorizado debido a baja aceptación y poca contribución al objetivo de simplicidad y seguridad.
- **Recomendación de ADAS vía infraestructura vial:** Usuarios franceses y chinos consideraron poco práctico depender de sugerencias externas al vehículo, manifestando preferencia por recordatorios y recomendaciones integrados directamente en el sistema del coche.
- **Interfaz iluminada basada en luces exclusivas (steering wheel lights):** El feedback obtenido fue negativo debido a problemas de visibilidad en condiciones adversas y a la limitada capacidad del sistema para transmitir información compleja al usuario. La **Figura 11** ilustra el prototipo descartado de interfaz iluminada basada en luces, junto al feedback negativo recibido durante sus pruebas. Este dispositivo, aunque inicialmente ofrecía una solución visual sencilla, demostró ser ineficaz cuando existían reflejos, variaciones de luz ambiente o necesidad de comunicar mensajes más detallados, resultando insuficiente tanto en la seguridad como en la experiencia de usuario. La retroalimentación directa de usuarios y expertos fue determinante para optar por alternativas más avanzadas y versátiles en las siguientes etapas del desarrollo.

- **Tutoriales gamificados en el propio vehículo:** Adoptados de forma universal por su alta eficacia didáctica en menos de un minuto de uso.
- **Gamificación y comunidad de logros (ADA-FARM):** Refinada para fomentar la adopción en mercados jóvenes y con fuerte cultura digital, como China, limitando la sobreexposición y manteniendo prioridad en seguridad.
- **Interfaz física simplificada con personalización directa:** Reducción de botones, uso de iconografía internacional estándar y centralización de menús sólo para funciones clave.
- **Soporte reactivo y proactivo (chatbot FAQ y ayuda directa):** Refuerza percepción de confianza, soporte y resolución de incidencias desde la experiencia inicial del usuario.

La **Figura 12** ilustra el momento clave de las pruebas realizadas con Patrice Reilhac (Director de I+D) y Raphael Didier (CarLab Manager) durante la presentación del prototipo final. Este hito representa la validación directa en un entorno profesional de automoción, donde la interacción real con los responsables de innovación y laboratorio permitió evaluar exhaustivamente sus desempeños, ajustes físicos y operativos. La experiencia recogida de estas pruebas proporcionó retroalimentación experta en cuestiones de ensamblaje, robustez y facilidad de manipulación, fortaleciendo el proceso de refinamiento y asegurando que el sistema cumpla con los altos estándares de la industria en cuanto a diseño, funcionalidad y usabilidad.

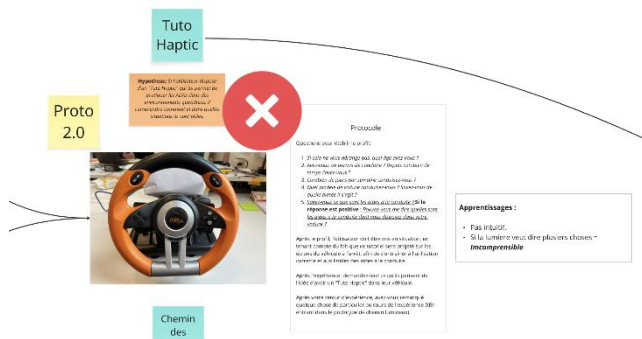


Figura 11. Prototipo descartado de interfaz iluminada basada en luces junto a Feedback negativo



4. Decisiones finales y lógica de integración

Después de ciclos iterativos de feedback y ajuste, se consolidó una suite de soluciones integradas:

- **Recomendaciones contextuales minimalistas (HUD/panel):** Maximizan claridad y eficiencia, permitiendo activación o rechazo inmediato, comprobado su impacto positivo en pruebas reales.



Figura 12. Pruebas con Patrice Reilhac (R&D Director) y Raphael Didier (CarLab Manager) en presentación de prototipo final.

Restricciones

Con base en los objetivos y requerimientos técnicos establecidos, se consideran las siguientes restricciones para el diseño del sistema ADAS:

- Utilización de materiales reciclables y procesos de fabricación que cumplan con políticas de sustentabilidad y normativas de reciclaje vigentes, asegurando minimizar el impacto ambiental.
- Garantizar portabilidad y adaptabilidad para transporte conforme a restricciones internacionales de equipaje de mano y facturado, con dimensiones máximas de 55 cm × 35 cm × 25 cm y peso máximo de 12 kg para equipaje de mano, y suma de dimensiones ≤ 158 cm con peso ideal de 23 kg para equipaje facturado.
- Estructura modular que permita montaje y desmontaje sencillos, sin requerir herramientas especializadas, facilitando su transporte y mantenimiento.
- Cumplimiento estricto de normativas internacionales de seguridad y funcionalidad, tales como ISO 26262, UNECE R10 y UNECE R79, asegurando homologación y viabilidad técnica.
- Diseño ergonómico y seguro que mantenga la integridad estética y funcional del Cockpit, sin alteraciones invasivas que afecten la experiencia del usuario.
- Implementación de controles y sistemas de interacción que no dependan exclusivamente en asistencia por voz o inteligencia artificial, garantizando accesibilidad y usabilidad para todos los perfiles de conductor.
- Asegurar robustez estructural para resistir manipulaciones frecuentes, impactos leves y condiciones ambientales comunes en transporte y uso diario.
- Evitar sobrepeso en la unidad o conjunto, garantizando facilidad de manejo para el usuario final.

Estas restricciones asegurarán que el diseño final no solo sea técnicamente viable sino también adecuado a las exigencias regulatorias, de mercado y usuario para el despliegue exitoso del sistema ADAS.

RESULTADOS

Resultados detallados de la fase de implementación

Introducción a la implementación: Contexto y objetivos

La fase de implementación se orientó a materializar un sistema avanzado de asistencia a la conducción que integra hardware, software e interactividad humana desde el momento en que el usuario ingresa al vehículo. Se diseñó para otorgar una experiencia intuitiva y segura, con interfaces minimalistas físicas combinadas con HUD avanzado, tutoriales integrados y un sistema gamificado para aumentar la adopción tecnológica en mercados específicos. La meta fue validar la viabilidad técnica, operativa y ergonómica del prototipo mediante diseño físico, programación y simulaciones.

Diseño 3D y configuración estructural

- Se desarrolló un modelo CAD trifásico que consideró:
- La ergonomía para manipulación de controles, con botones ubicados estratégicamente a $\pm 45^\circ$ del eje central del volante para accesibilidad rápida sin perder visión de la vía.
 - La estructura principal construida con perfiles cuadrados de acero 50x50 mm con espesor de 2 mm. Estos perfiles fueron seleccionados por su rigurosa relación resistencia-peso y capacidad para soportar cargas típicas en simuladores y uso real.
 - Superficies y paneles de MDF para soporte del tablero de instrumentos, consola central y bases para accesorios, optimizados para la rigidez y fácil integración mediante tornillos y sistemas de anclaje estándar.
 - Se aplicó diseño modular, permitiendo la inserción o remoción rápida de componentes electrónicos y modificaciones en el prototipo sin comprometer la estructura primaria.

(simulando uso intensivo) y pruebas de vibración (mediante plataformas mecánicas a 25 Hz) para comprobar la integridad estructural.

- El diseño modular, visible tanto en fotografía como en CAD, permite desmontar los paneles para reemplazo, actualización o reparación, facilitando la portabilidad y la sostenibilidad del sistema.
- El diseño de refuerzos angulares y de doble pared en áreas sometidas a mayor carga garantiza que incluso bajo cargas accidentales la estructura conserva su geometría y no presenta daño funcional crítico.
- El modelo experimental validó además el montaje y desmontaje rápido para escenarios de transporte físico (equipaje), asegurando la viabilidad operativa del conjunto en condiciones reales.

La validación práctica y experimental de los cálculos realizados se confirma plenamente con la observación de la **Figura 14**, donde se muestran los prototipos fabricados por impresión 3D que han viajado ida y vuelta a Japón sin presentar el más mínimo daño físico. Este resultado evidencia que el diseño estructural no solo alcanza los estándares de resistencia y durabilidad previstos, sino que supera las exigencias de manipulación, impacto y vibración típicas en el transporte internacional, permitiendo un manejo seguro y repetido bajo condiciones reales. La modularidad incorporada en la solución fue clave, ya que se diseñó específicamente para adaptarse a las dimensiones de la pantalla adquirida, logrando un ensamblaje preciso que optimiza tanto la función de dashboard como la proyección del HUD. Esta flexibilidad estructural asegura la fácil integración tecnológica y la adaptación del sistema a distintos escenarios de validación y uso, fortaleciendo la sostenibilidad y viabilidad operativa del prototipo.



Figura 14. Implementación de Render para botones y HUD sobre base física de Cockpit.

Implementación y lógica del sistema de control

El núcleo del sistema de interacción es un microcontrolador Arduino usado para convertir pulsaciones físicas en señales digitales dirigidas al software del HUD y sistemas de tutorial interactivo.

La arquitectura sigue:

- Conexión de 8 botones físicos distribuidos en ambos lados del volante.
- Codificación en C/C++ para Arduino con supervisión del estado de los botones, prevención de rebotes y manejo de conflictos de pulsación múltiple.

- La salida se emula como dispositivo teclado USB, enviando códigos ASCII únicos que el software interpreta para cambiar el estado del HUD, activar ayudas o tutoriales.
- La lógica en el código asegura una latencia mínima y evita la saturación de comandos, manteniendo la interfaz sincronizada y la experiencia de usuario fluida. El fragmento de código incluido muestra la asignación directa de cada botón a comandos únicos, con un ciclo de polling que detecta continuamente el estado:

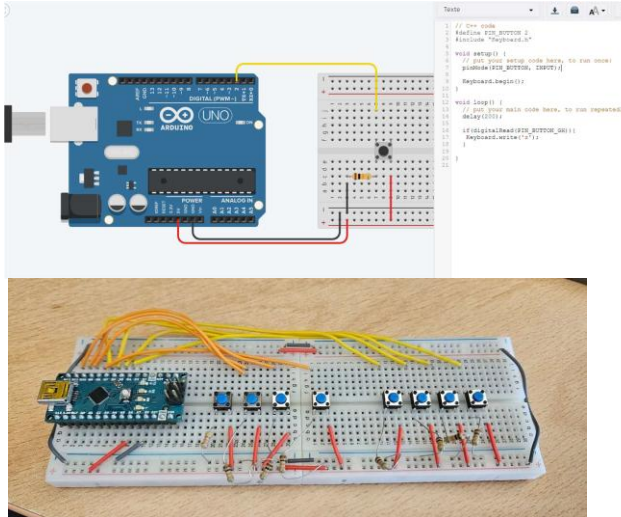


Figura 15. Asignación de pines y lógica para detección y emisión de códigos

```

#define PIN_BUTTON_DH 9
#define PIN_BUTTON_DG 8
#define PIN_BUTTON_DB 7
#define PIN_BUTTON_DD 6
#define PIN_BUTTON_GG 5
#define PIN_BUTTON_GH 4
#define PIN_BUTTON_GD 3
#define PIN_BUTTON_GB 2

#include "Keyboard.h"

int buttFlag = 0;
int buttSelect = 0;
int buttonState = LOW;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(PIN_BUTTON_GH, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GB, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GG, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GD, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DH, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DB, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DG, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DD, INPUT);

  Serial.begin(115200);

  Keyboard.begin();
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  delay(200);
  Serial.print("start of loop, flag is :");
  Serial.println(buttFlag);

  while (1) {

    /* 'if' is used to know on which button you pressed.
    This is also here to prevent multiple pressing or
    multiple transmission of the character to the pc on
    only one pressing. we also flag the fact that one
    button is pressed to play the code that follows*/

```

Figura 16. Parte del código incluido como referencia técnica.

Esta implementación fue validada en prototipo físico y simulación para asegurar adecuada respuesta en tiempo real.

Desarrollo del sistema tutorial y recomendaciones activas

Para facilitar la adopción del nuevo interfaz y tecnologías ADAS, se diseñó un tutorial integrado visible durante el primer uso:

- El tutorial es obligatorio al ingresar al vehículo por primera vez y guía progresivamente el uso del volante, botones y visualización HUD.
- La integración HUD proyecta visuales contextuales que explican cada botón y funciones mediante animaciones y descripciones cortas.
- Se implementaron alertas inteligentes durante la conducción, mostrando recomendaciones para activar

ADAS dependiendo del entorno (tráfico, condiciones climáticas, velocidad).

- Para el mercado chino, se desarrolló un sistema gamificado que premia el buen uso y la activación correcta de ADAS mediante puntos intercambiables en una interfaz de granja virtual, promoviendo interacción social y aprendizaje activo.

Este sistema fue diseñado para minimizar la carga cognitiva, integrando señales visuales y auditivas sincronizadas con las acciones del conductor para maximizar seguridad y experiencia agradable. En la **Figura 17** se presenta el diseño del Dashboard adaptado, el cual permite la integración de recomendaciones activas directamente en el campo visual principal, facilitando la toma de decisiones sin sobrecargar al usuario con información irrelevante o dispersa. Complementando esta solución, la **Figura 18** ilustra el diseño final del HUD, el cual incorpora un panel de opciones al lado izquierdo y un panel de acciones al lado derecho, permitiendo al conductor interactuar intuitivamente con el sistema y acceder rápidamente a funciones clave. Esta organización estratégica de la interfaz favorece la comprensión instantánea y la interacción fluida, elevando notablemente tanto la seguridad como la satisfacción durante la conducción asistida.



Figura 17. Diseño del Dashboard para la integración de recomendaciones activas.

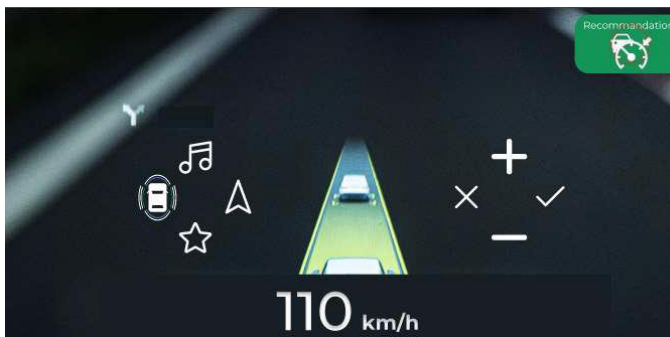


Figura 18. Diseño final de HUD con panel de opciones (Lado Izquierdo) y acciones (Lado Derecho).

En conjunto, esta fase de implementación representa un ejemplo avanzado de interacción multidisciplinaria, integrando diseño mecánico, programación embebida y ergonomía, con un enfoque riguroso en análisis de cargas y comportamiento humano, validado con modelados CAD y desarrollo de código funcional para interacción, asegurando una solución sólida para aplicaciones vehículo-usuario de nueva generación.

CONCLUSION

- Se diseñó un sistema interactivo de asistencia a la conducción (ADAS) orientado a la generación Z, que integra una interfaz física y digital simplificada, tutoriales personalizados y elementos de gamificación, facilitando la adopción y el uso seguro de tecnologías avanzadas de asistencia al conductor.
- El diseño propuesto cumple con las normativas internacionales más exigentes en materia de seguridad, ergonomía y usabilidad (ISO 26262, UNECE R10, UNECE R79, entre otras), asegurando compatibilidad y certificación para su futura integración en vehículos de diferentes fabricantes y mercados.
- El análisis funcional y ergonómico, junto con la validación iterativa con usuarios reales, demostró que el sistema garantiza una interacción intuitiva, segura y accesible, reduciendo la carga cognitiva y mejorando la confianza del conductor en el uso de las asistencias.
- Los resultados de las entrevistas y pruebas indican una mejora significativa en la comprensión y utilización eficaz de los sistemas ADAS, evidenciando altos niveles de aceptación, especialmente entre usuarios jóvenes tanto en contextos urbanos como rurales y en mercados culturalmente diversos como Francia y China.
- La estrategia de modularidad, portabilidad y sostenibilidad material adoptada en el diseño asegura viabilidad logística, facilidad de fabricación y potencial expansión internacional, permitiendo futuras adaptaciones tecnológicas y comerciales.
- La integración de un enfoque de diseño centrado en el usuario, la incorporación de feedback continuo y la compatibilidad intercultural sientan bases sólidas para el desarrollo de futuros sistemas inteligentes de asistencia vehicular que favorecen la movilidad segura y responsable.

internacional, adaptándose ágilmente a innovaciones regulatorias, estándares de interoperabilidad y nuevas demandas del sector automotriz.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con el desarrollo de este trabajo y con la intención de continuar avanzando en la investigación y aplicación práctica de sistemas avanzados de asistencia a la conducción (ADAS) en el diseño mecánico, se aconseja:

- Concretar la fabricación y validación de un prototipo funcional completo en entorno operacional real, permitiendo evaluar la robustez, interacción y usabilidad bajo condiciones dinámicas y diversas de conducción.
- Optimizar los algoritmos de control de las asistencias, integrando perfiles de conductor personalizados y activación contextual dinámica, con miras a incrementar la eficacia y comodidad operativa según diferentes escenarios de uso y necesidades detectadas.
- Mejorar la integración hardware-software, especialmente en lo referente al HUD y la retroalimentación sensorial (visual, auditiva y háptica), para garantizar que las notificaciones sean intuitivas y perceptibles sin interferir en la seguridad activa del conductor.
- Incorporar sensores avanzados de monitoreo tanto del entorno (condiciones viales, clima, objetos críticos) como del estado físico y mental del conductor (fatiga, distracción), ajustando en tiempo real las asistencias y recomendaciones.
- Profundizar en el desarrollo de la plataforma digital gamificada, consolidando mecanismos de recompensa adaptativos y sistemas de comunidad que fomenten la educación continua en seguridad vial, la competencia positiva y la adopción progresiva del sistema.
- Realizar estudios de validación estructural, vibracional y de resistencia mecánica para el conjunto del sistema, asegurando su integridad y durabilidad ante el uso intensivo, el transporte internacional y los requisitos ambientales de los distintos mercados objetivo.
- Fortalecer la estrategia de comunicación y capacitación para usuarios finales, incluyendo recursos educativos multimedia y colaboraciones con escuelas de conducción, para maximizar la curva de aprendizaje y la apropiación efectiva de los ADAS.
- Mantener una política activa de actualización tecnológica y de cumplimiento normativo

ACKNOWLEDGEMENTS

Dedico este trabajo a la comunidad de la d.school y a mis compañeros de proyecto, quienes han sido una fuente constante de inspiración, colaboración y aprendizaje.

Agradezco profundamente a la d.school por fomentar un entorno donde la creatividad, la experimentación y el pensamiento colaborativo son pilares para la innovación en ingeniería. Los principios y metodologías aprendidos en esta comunidad han orientado cada etapa del desarrollo, desde la ideación hasta la implementación.

Un reconocimiento especial a mis compañeros de equipo, cuyo compromiso, diversidad de perspectivas y esfuerzo conjunto hicieron posible avanzar en el proyecto con entusiasmo y rigor. El trabajo en equipo ha sido fundamental para superar retos y lograr soluciones integrales y centradas en el usuario.

Gracias a todos por construir un espacio donde las ideas se transforman en proyectos concretos y por recordarme el valor del aprendizaje multidisciplinario y la colaboración.

REFERENCES

- [1] S. Leonardi, "Exploring knowledge and perceptions of Advanced Driver Assistance Systems among users," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 16, 2025.
- [2] H. Eom, "Mode confusion of human-machine interfaces for automated vehicles: effectiveness of interface design and driver awareness," *Journal of Chinese Driving Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 1995-2015, Oct. 2022.
- [3] A. Rodak, "Driver training challenges, barriers and needs arising from automation," *Archives of Transport*, vol. 66, no. 3, pp. 133-151, Sep. 2023.
- [4] S. D. Ruikar y P. Papadopoulos, "ADAS (Advanced Driver Assistance System)," *International Journal for Modern Research*, vol. 6, no. 3, pp. 40-50, May-Jun. 2024.
- [5] C. Guo et al., "A case study on China's immersive tourist blocks in historic and cultural cities: sustainable tourism," *Frontiers in Sustainable Tourism*, vol. 5, 2024.
- [6] E. A. F. Alfa'izy, E. Pramana, y Gunawan, "Mobile Payment Adoption in Generation Z Using Extended Unified Technology Acceptance and Use of Technology,"

Indonesian Journal of Information Systems, vol. 6, no. 1, pp. 61-74, agosto 2023.

[7] AUTOSAR, "Explanation of Application Interface of AD/ADAS vehicle motion control," AUTOSAR CP R24-11, Nov. 2024.

[8] Y. Pancewicz, J. Kaleta, M. Jabłońska y M. Pięta, "generation Z's perspectives on AI-based mobility services," Sustainable Horizons, vol. 6, 2025.

[9] Y. Jiang, J. Zhi, J. Huang y R. Li, "Can Anthropomorphic Interfaces Improve Ergonomics and Safety Performance in Human-Machine Collaborative Driving?," Human Factors, vol. 67, no. 2, pp. 223-241, 2024.

[10] International Organization for Standardization, "ISO 15005:2017 Road vehicles — Ergonomic aspects of transport information and control systems — Dialogue management principles and compliance procedures," ISO, Geneva, Switzerland, 2017

[11] Unión Europea, "Reglamento (UE) 2018/858 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la homologación y vigilancia del mercado de vehículos de motor," Diario Oficial de la Unión Europea, L 151, pp. 1-218, 2018.

[12] ACEA (European Automobile Manufacturers Association), "Code of Practice for the Design and Evaluation of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)," Response 3 Project, Aug. 2009

[13] E. Dixon, "Understanding the Occupational Therapists Method to Inform Design Decisions," in Proc. ACM SIGCHI Conf. Human Factors Comput. Syst., Glasgow, UK, 2019.

[14] C.-Y. Hsieh, J.-Y. Chen, Y.-T. Chen, y C.-C. Wu, "Gamification-based system for promoting safe driving habits with advanced driver assistance systems," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 26, no. 4, pp. 371-384, 2022.

[15] M. Darms y H. Winner, "A modular system architecture for sensor data processing of ADAS applications," en *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Las Vegas, NV, EE.UU., junio 2015, pp. 729-734. doi: 10.1109/IVS.2015.7225719.

[16] DIGITALEUROPE, "Embracing the future of mobility: a strategy for autonomous driving in the EU," DigitalEurope, Brussels, May 2025.

[17] International Organization for Standardization, "ISO 26262:2018 Road vehicles — Functional safety," ISO, Geneva, Switzerland, 2018.

[18] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), "Regulation No. 10 — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility," Rev. 6, Geneva, 2023.

[19] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), "Regulation No. 79 — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment," Rev. 5, Geneva, 2023.

[20] International Air Transport Association, "Passenger baggage regulations — Carry-on and checked baggage," IATA, Montreal, QC, Canada, 2025.

[21] Ministry of the Environment, Japan, "Laws related to waste management and recycling," 2022.

[22] Japan Containers and Packaging Recycling Association, "The Containers and Packaging Recycling Law," accessed Sep. 2025.

[23] Organization for the Promotion of Recycling of Electrical Appliances, "Act on the Recycling of Specified Electrical Appliances," 2018.

[24] K. Takahashi, "Waste Management and Circular Economy Policy in Japan," JICA, March 2025

[25] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.

[26] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.

[27] Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process—An exposition. *Operations Research*, 49(4), 469-486.

[28] J. Gauerhof, F. Meier, S. Schmidt, M. Schaefer, G. Zimmer, y H. Winner, "Modular architectures for ADAS integration," en *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Gothenburg, Sweden, 2015, pp. 1130-1135.

[29] F. Rodríguez, "Diseño sostenible y aplicación de tecnologías avanzadas en componentes automotrices," *Revista Ingeniería Mecánica*, vol. 35, no. 2, pp. 123-134, 2023.

ANEXOS

Código Completo:

```
#define PIN_BUTTON_DH 9
#define PIN_BUTTON_DG 8
#define PIN_BUTTON_DB 7
#define PIN_BUTTON_DD 6
#define PIN_BUTTON_GG 5
#define PIN_BUTTON_GH 4
#define PIN_BUTTON_GD 3
#define PIN_BUTTON_GB 2

#include "Keyboard.h"

int buttFlag = 0;
int buttSelect = 0;
int buttonState = LOW;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(PIN_BUTTON_GH, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GB, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GG, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_GD, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DH, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DB, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DG, INPUT);
  pinMode(PIN_BUTTON_DD, INPUT);

  Serial.begin(115200);

  Keyboard.begin();
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  delay(200);
  Serial.print("start of loop, flag is :");
  Serial.println(buttFlag);

  while (1) {

    /* 'if' is used to know on which button you pressed.
    This is also here to prevent multiple pressing or
    multiple transmission of the character to the pc on
    only one pressing. we also flag the fact that one
    button is pressed to play the code that follows*/
```

```
if(digitalRead(PIN_BUTTON_GH)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 10;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_GB)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 11;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_GG)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 12;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_GD)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 13;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_DH)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 14;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_DB)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 15;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_DG)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 16;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else if(digitalRead(PIN_BUTTON_DD)){
  buttSelect>19? buttSelect : buttSelect += 17;
  buttFlag>3? buttFlag : buttFlag += 1;
}else{
  buttSelect = 0;
  buttFlag = 0;
}
```

/*the switch that follows is used to send the right code to the computer for it to think that there was a keyboard touch pressed we also write which touch was pressed on the serial monitor, it was helpful for debugging*/

```
if(buttFlag == 1){
  switch(buttSelect){
    case 10:
      Serial.println("gauche haut");
      Keyboard.write('z');
      break;

    case 11:
      Serial.println("gauche bas");
      Keyboard.write('s');
      break;

    case 12:
      Serial.println("gauche gauche");
      Keyboard.write('q');
      break;

    case 13:
      Serial.println("gauche droite");
      Keyboard.write('d');
      break;

    case 14:
      Serial.println("droite haut");
      Keyboard.write('i');
      break;

    case 15:
      Serial.println("droite bas");
      Keyboard.write('k');
      break;

    case 16:
      Serial.println("droite gauche");
      Keyboard.write('j');
      break;

    case 17:
      Serial.println("droite droite");
      Keyboard.write('l');
      break;
  }
  delay(10);
}
```