

Efectos de las condiciones ambientales en la aceptación tecnológica de los vehículos autónomos a partir de un enfoque de simulación: Diseño preliminar de investigación

Environmental Conditions Effects on Technological Acceptance of Autonomous Vehicles from a simulation approach: A preliminary research design

Tatiana Ortegón-Sarmiento

Universidad de Granada
Granada, Andalucía, España
Université du Québec à Trois-Rivières
Trois-Rivières, Quebec, Canadá
tatiana.ortegon@uqtr.ca

Patricia Paderewski

Departamento de Lenguajes y Sistemas
Informáticos
Universidad de Granada
Granada, Andalucía, España
patricia@ugr.es

Francisco Gutiérrez-Vela

Departamento de Lenguajes y Sistemas
Informáticos
Universidad de Granada
Granada, Andalucía, España
fgutierr@ugr.es

Souso Kelouwani

Département de Génie Mécanique
Université du Québec à Trois-Rivières
Trois-Rivières, Quebec, Canadá
souso.kelouwani@uqtr.ca

Álvaro Uribe-Quevedo

Faculty of Business & IT
Ontario Tech University
Oshawa, Ontario, Canadá
alvaro.quevedo@ontariotechu.ca

Recibido: 12.10.2022 | Aceptado: 03.12.2022

Palabras Clave

Aceptación tecnológica
Conciencia situacional
Estudios de usuario
Experiencia de usuario
Realidad virtual
Vehículos autónomos

Resumen

Diferentes avances han aparecido con la nueva era tecnológica y la transformación digital, destacándose los vehículos autónomos (VAs). La creciente visibilidad de estos ha dado paso a diversas investigaciones sobre la aceptación y percepción de esta tecnología, sin embargo, en muchas de estas, los participantes se basan únicamente en una creencia preconcebida ya que la mayoría no ha conducido o tenido contacto con este tipo de vehículo, debido a que los estudios de prueba con VAs reales son caros, peligrosos y poco éticos. La realidad virtual surge como una posible solución a este problema, ya que proporciona un entorno realista, seguro y controlado, en el que se pueden implementar diferentes situaciones viales y meteorológicas. En este artículo se presenta un diseño de investigación preliminar, basado en el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM), que busca evaluar e inferir el nivel de aceptación de los VAs, así como el comportamiento de los usuarios a la hora de utilizarlos e interactuar con ellos. El estudio se basa en una simulación virtual inmersiva de un VA, donde el usuario es expuesto a una situación de riesgo en la que el vehículo es incapaz de reconocer el carril debido a dificultades meteorológicas.

Keywords

Technological acceptance
Situational awareness
User studies
User experience
Virtual reality
Autonomous vehicles

Abstract

Different advances have appeared with the new technological era and digital transformation, with autonomous vehicles (AVs) standing out. The growing visibility of these has given way to several investigations on the acceptance and perception of this technology, however, in many of these, the participants are based solely on a preconceived belief since most have not driven or had contact with this type of vehicle, because the test studies with real AVs are expensive, dangerous and unethical. Virtual reality is a possible solution to this problem since it provides a realistic, safe and controlled environment where different road and weather situations can be implemented. This paper presents a preliminary research design based on the Technology Acceptance Model (TAM), which seeks to assess and infer the level of acceptance of AVs and user behavior when using and interacting with them. The study is based on an immersive virtual simulation of an AV, where the user is exposed to a risky situation in which the vehicle cannot recognize the lane due to weather difficulties.

1. Introducción

El despliegue de los sistemas automatizados de conducción en las vías urbanas y carreteras ha avanzado en los últimos años gracias a las investigaciones en este campo de la tecnología automotriz, y a los avances en los sistemas de asistencia a la conducción. Estos últimos se están utilizando para la advertencia y evasión de choques.

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) (Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras, 2022) ha especificado seis niveles de automatización de la conducción de vehículos, los cuales van desde el control totalmente manual para el nivel 0, hasta el control totalmente autónomo para el nivel más alto (Rödel, Stadler, Meschtscherjakov, & Tscheligi, 2014).

- Nivel 0 (asistencia momentánea al conductor): Este nivel corresponde al control totalmente manual del vehículo por parte del conductor. El sistema únicamente proporciona asistencia, como alertas o advertencias.
- Nivel 1 (asistencia al conductor): El vehículo dispone de un único sistema automatizado sencillo para ayudar al conductor, como la aceleración/frenado o la dirección. Este nivel requiere que el conductor humano supervise aspectos de la conducción.
- Nivel 2 (asistencia adicional): Consiste en los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y comprende al menos dos funciones de control principales (por ejemplo, la aceleración/frenado y el centrado en el carril). En este nivel, el usuario es responsable de conducir el vehículo.
- Nivel 3 (automatización condicional): El vehículo puede realizar tareas dinámicas de conducción, como la planificación de maniobras o la respuesta a objetos y eventos en el camino, sin la supervisión constante del usuario. Sin embargo, el conductor debe ser capaz de responder adecuadamente a cualquier solicitud de intervención en caso de fallo del sistema (Sportillo, Paljic, & Ojeda, 2018).
- Nivel 4 (alta automatización): El vehículo puede realizar todas las actividades de conducción bajo determinadas circunstancias, y dentro de un área de servicio limitada. El conductor humano no necesita estar involucrado, ya que el vehículo es capaz de intervenir en caso de fallo del sistema, sin embargo, puede seguir anulando cualquier acción manualmente.
- Nivel 5 (automatización completa): En este nivel el vehículo es completamente autónomo, bajo todas las condiciones de carretera, y no requiere la atención del conductor humano.
- Desde el punto de vista tecnológico, el principal objetivo es que los vehículos autónomos comprendan el entorno que les rodea (Ko, y otros, 2021). Lo anterior, con el fin

de que puedan realizar numerosas tareas que ayuden a minimizar los errores humanos en la conducción, mientras operan en tráfico mixto y en todas las condiciones meteorológicas.

El reconocimiento de las marcas de carril, así como la atención al tráfico en los carriles laterales, son muy importantes en la conducción autónoma. Estas son clave para estimar de forma fiable la posición y la trayectoria del vehículo en relación con la carretera (Narote, Bhujbal, Narote, & Dhane, 2018). Sin embargo, son tareas críticas ya que dependen en gran medida de la percepción visual para interpretar el entorno circundante (Ko, y otros, 2021). Diversas variables, como el clima, los cambios de iluminación, otros vehículos o los cambios en la superficie de la carretera, pueden llegar a afectar su rendimiento en mayor o menor medida (Tang, Li, & Liu, 2021). De hecho, los accidentes por abandono involuntario del carril (Mohammed, y otros, 2020) se encuentran entre los más letales, con 13.000 víctimas mortales en Estados Unidos en el año 2015 (Penmetsa, Hudnall, & Nambisan, 2019).

Desde el punto de vista humano, se busca que las personas se sientan cómodas y seguras a la hora de utilizar e interactuar con los vehículos automatizados. Actualmente, a pesar del reconocimiento de la tecnología y su implementación, existe un porcentaje de la población que aún no confía en estos sistemas, teniendo cierta preocupación por no tener control sobre el volante. Según la encuesta de la Asociación Americana del Automóvil (AAA) de 2021, el 86% de los 1.010 encuestados en Estados Unidos tienen miedo o no están seguros de viajar en VAs completos (Edmonds, 2021). Esto se debe en parte al desconocimiento de los conductores, y a la falta de información sobre estas tecnologías. Según la AAA, los usuarios confiarían más en los coches de autoconducción si se familiarizaran con funciones como el aparcamiento automático (Isidore, 2016).

En la literatura se encuentran estudios donde se evalúa la escala de aceptación de los VAs entre diferentes tipos de usuarios. Sin embargo, muchos de ellos no incluyen un vehículo de autoconducción en el experimento, o en algunos, los participantes no han conducido o tenido contacto con uno de estos vehículos. Las evaluaciones presentadas se basan en la concepción que tienen los usuarios sobre esta tecnología (Koul & Eydgahi, 2018), o en imágenes, vídeos o lecturas presentadas previamente a los cuestionarios online realizados (Nees, 2016).

En este artículo se presenta el diseño de un estudio para la evaluación e inferencia del nivel de aceptación de los VAs y del comportamiento de los usuarios al utilizarlos e interactuar con ellos, mediante una simulación virtual inmersiva de un coche automatizado. Dentro de la simulación, el usuario debe reaccionar ante una situación de emergencia en la que el

vehículo es incapaz de reconocer el carril debido a la acumulación de nieve en la carretera.

2. Estado del arte

La creciente evolución de los sistemas automatizados de conducción ha conllevado a la realización de diversos estudios sobre la aceptación de este tipo de tecnología por parte de los usuarios. Con este propósito, Nees (Nees, 2016) desarrolló el cuestionario Self-driving Car Acceptance Scale (SCAS). Este se aplicó junto con dos situaciones hipotéticas que representaban una experiencia ideal y una realista de una persona con un vehículo de autoconducción durante los primeros meses de su adquisición. En el caso de la experiencia ideal, hubo un alto grado de aceptación por parte de los participantes. Este tipo de investigación permite conocer el punto de vista humano, sin embargo, en muchas de estas investigaciones el acercamiento del usuario a un VA es casi inexistente, ya sea por razones de seguridad o por limitaciones de recursos.

Las simulaciones ofrecen una alternativa para resolver estos problemas, abordando la falta de datos para el entrenamiento y la prueba de la tecnología mediante la generación de datos sintéticos (Jin, Swedish, & Raskar, 2018), (Johnson-Roberson, y otros, 2016). A su vez, facilitan la experimentación con los usuarios a través de situaciones controladas tanto reales como virtuales. Baltodano et al. (Baltodano, Sibi, Martelaro, Gowda, & Ju, 2015) exploraron la interacción entre un usuario y un vehículo automatizado con el fin de evaluar las actitudes y preocupaciones de los usuarios. Para el estudio, propusieron un entorno donde se simulaba un coche autónomo utilizando el método del Mago de Oz. La evaluación se realizó utilizando métodos cualitativos y cuantitativos a través de entrevistas y cuestionarios, y a partir de vídeos, donde evaluaron el tiempo de respuesta del usuario ante determinados eventos en la carretera.

Los diferentes esfuerzos centrados en proporcionar experiencias seguras a los usuarios en el ámbito de los VAs también han dado lugar a experiencias inmersivas utilizando métodos de simulación como la realidad virtual. Esta tecnología genera un entorno similar a la realidad proporcionando una sensación de inmersión, presencia y sentido de pertenencia al usuario a través de la estimulación sensorial (visual, auditiva, háptica, olfativa) y cognitiva.

La realidad virtual está adquiriendo una gran relevancia como herramienta para el entrenamiento, la investigación y las pruebas de los coches de autoconducción. Permite simular todo tipo de escenarios y situaciones de forma segura, controlada e interactiva, sin exponer a los usuarios a circunstancias peligrosas, a un coste asequible y en menos tiempo (Nascimento, y otros, 2019).

Considerando que los coches autónomos serán utilizados por usuarios no profesionales en un contexto en el que el tiempo y la seguridad son críticos (Zou, y otros, 2021), la realidad virtual se ha utilizado para que los usuarios tengan más confianza con el vehículo y el entorno. Con esta tecnología se puede mejorar la conciencia situacional, y entender cómo los usuarios responden a diferentes estímulos, con el fin de detectar posibles comportamientos peligrosos y de riesgo en la conducción (Sportillo, Paljic, & Ojeda, 2018). Así mismo, se pueden emplear experiencias inmersivas para enseñar a los conductores cómo interactuar con los vehículos y cómo reaccionar ante situaciones impredecibles (Nascimento, y otros, 2019).

Zou et al. (Zou, y otros, 2021) llevaron a cabo un estudio en el que evaluaron y compararon la experiencia de usuario al utilizar i) un simulador de VA con realidad virtual inmersiva, ii) un sistema estacionario con retroalimentación visual por pantalla y por head-mounted display (HMD), y iii) al aplicar la técnica del Mago de Oz en la carretera. Para el estudio, los autores utilizaron un diseño intra-sujetos, el cual incluyó diferentes cuestionarios de usuario para la evaluación. De los resultados se dedujo que el sistema era bien aceptado, útil, realista, inmersivo, seguro, asequible y económico, siendo una buena alternativa a los simuladores tradicionales.

De esta clase de estudios, se puede notar que la respuesta del usuario y la aceptación de este tipo de vehículo podría verse afectada si las simulaciones implican tareas de control o supervisión del vehículo. En respuesta a esto, se realizan investigaciones que utilizan la realidad virtual para estudiar el impacto de ciertas actividades no relacionadas con la conducción sobre el rendimiento del usuario cuando toma el control del vehículo autónomo (Nascimento, y otros, 2019). Estos estudios evalúan el tiempo de intervención del usuario, el tiempo de reacción de la mirada entre las actividades secundarias y la carretera, y el tiempo que tarda el usuario en agarrar el volante para recuperar el control (Sportillo, Paljic, & Ojeda, 2018).

En el estudio de Sportillo et al. (Sportillo, Paljic, & Ojeda, 2018) se desarrolló un programa de entrenamiento con realidad virtual para la adquisición de habilidades de interacción con un coche automatizado de nivel 3. Se evaluó el tiempo de reacción y de colisión, los niveles de estrés y confianza del usuario, y el realismo del entorno virtual. Estos resultados se compararon con los obtenidos al usar un manual de usuario y un simulador estacionario. El simulador de realidad virtual demostró ser una opción segura, fiable, portátil y rentable, y fue la preferida por los usuarios.

A partir de los estudios encontrados, se puede evidenciar que la realidad virtual es una opción potencial para la formación, las pruebas y la investigación de los vehículos autónomos.

Esta proporciona un entorno seguro, controlado y variado, sin los riesgos del mundo real (Nascimento, y otros, 2019).

La mayor parte de la investigación enfocada a la realidad virtual y los VAs está relacionada con el human-in-the-loop, principalmente con la relación entre los vehículos y los peatones o usuarios (Nascimento, y otros, 2019). Sin embargo, existe un vacío relacionado con los factores ambientales, y en como estos afectan o inciden en la aceptación o el rechazo de estos vehículos (Nees, 2016), en la interacción, la experiencia y en el comportamiento de los usuarios (Tran, Parker, & Tomitsch, 2021).

Hasta donde sabemos, muy pocas investigaciones han abordado la influencia de las condiciones meteorológicas y de carretera en la experiencia y el comportamiento de los usuarios, o en la intención de uso de esta tecnología de conducción (Pillai, 2017). Por lo general, las simulaciones son diurnas y en condiciones meteorológicas leves o templadas, lo que impide averiguar nuevos requisitos de diseño y su posible solución (Tran, Parker, & Tomitsch, 2021).

3. Método

El objetivo de esta investigación es inferir el nivel de aceptación de los vehículos autónomos a partir de la aplicación de un modelo de investigación basado en el TAM (Davis, 1989). De igual forma, se busca evaluar el

comportamiento del usuario al interactuar con un simulador inmersivo de vehículo autónomo bajo diferentes condiciones meteorológicas, y ante una situación de peligro.

Se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el impacto de las condiciones ambientales, y de la exposición a una situación de emergencia, en la intención de uso de un vehículo autónomo, y en el comportamiento del usuario al interactuar con este?

3.1 Modelo de investigación

Para alcanzar el objetivo de este estudio se construyó un modelo de investigación basado en el TAM y en la investigación de Koul y Eydgahi (Koul & Eydgahi, 2018), en la cual se evaluó el grado de adopción y aceptación de los autos sin conductor.

Como se presenta en la Figura 1, adaptamos el modelo general (Davis, 1989) a los vehículos autónomos, tomando sus variables base (utilidad percibida, facilidad de uso percibida e intención de uso) y añadiendo tres variables adicionales a evaluar: la seguridad percibida, la carga de trabajo percibida y el comportamiento del usuario en términos de ritmo cardíaco, dirección de la mirada y tiempo que tarda en agarrar el volante para recuperar el control en una situación de emergencia.

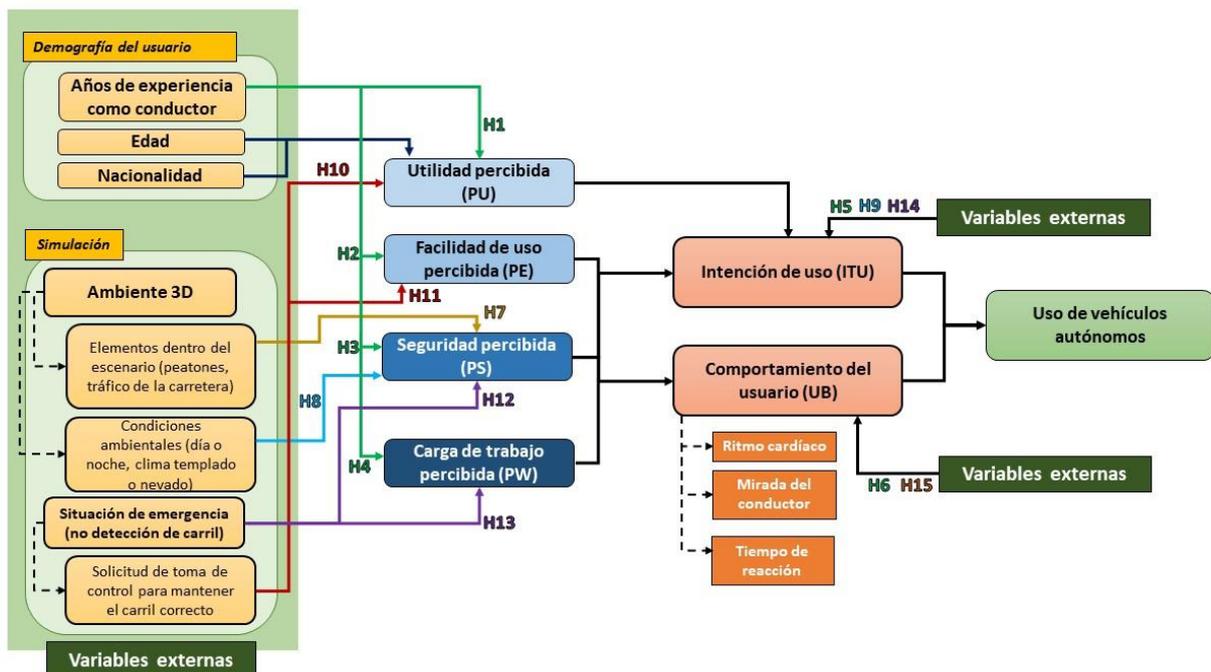


Figura 1: Modelo de investigación

En relación con las variables externas optamos por separarlas en dos grupos, como se observa en la Figura 1. Las variables relacionadas con i) los datos demográficos del usuario, y las relacionadas con ii) la simulación. En el primer grupo se incluyen los años de experiencia como conductor, la edad y la nacionalidad del usuario. El segundo grupo lo subdividimos en dos categorías i) el ambiente 3D, incluyendo los elementos dentro de este, como los peatones o el tráfico de carretera, y las condiciones meteorológicas, y ii) la situación de emergencia de no detección de carril por acumulación de nieve en la calle.

Respecto a las condiciones ambientales mencionadas en el modelo propuesto en la Figura 1, abordamos cuatro situaciones meteorológicas complejas para los vehículos, y los humanos a la hora de conducir, que se enumeran a continuación. La elección de estas situaciones meteorológicas se basó en el hecho de que en los países en los que el invierno conlleva nevadas, reconocer el carril es difícil porque la nieve lo cubre parcial o completamente. Esto hace necesaria la presencia de una persona en el interior del vehículo, la cual debe estar atenta y preparada para tomar decisiones y responder a determinadas situaciones inesperadas, como el retorno al carril correspondiente.

- Carretera diurna con clima templado
- Carretera diurna con nieve
- Carretera nocturna con clima templado
- Carretera nocturna con nieve

Igualmente, para el modelo de investigación formulado se definieron una serie de hipótesis, con el objetivo de

comprobarlas durante la realización del experimento. En la Figura 1, las hipótesis se ubicaron entre los elementos que representan las variables independientes y dependientes.

1. Existe una relación negativa entre los años de experiencia al volante y (H1) la utilidad percibida (PU), (H3) la seguridad percibida (PS), (H4) la carga de trabajo percibida (PW) y (H5) la intención de uso (ITU) de los vehículos autónomos.
2. Existe una relación positiva entre los años de experiencia en la conducción y (H2) la facilidad de uso percibida (PE) de los VAs y (H6) el comportamiento del usuario (UB) en una situación de emergencia del vehículo automatizado.
3. Los elementos del escenario, como los peatones u otros vehículos, tienen un impacto negativo en (H7) la PE de los VAs.
4. Las condiciones ambientales difíciles (nieve, noche) repercuten negativamente en (H8) la PS dentro del VA y en (H9) la ITU.
5. La solicitud de toma de control en caso de una situación de emergencia impacta negativamente (H10) la PU y (H11) la PE.
6. Experimentar una situación de emergencia dentro de un vehículo autónomo impacta negativamente en (H12) la PS, (H13) la PW y (H14) la ITU.
7. Las variables externas definidas influyen en el UB al interactuar con un VA (H15).



Figura 2: Grupos del estudio. (a) Grupo de control: no estará expuesto a la situación de emergencia, (b) Grupo 2: estará expuesto a situación de emergencia y deberá tomar control del vehículo para volver al carril, (c) Grupo 3: estará expuesto a la situación de emergencia, pero el vehículo corregirá el fallo.

3.2 Metodología

Para este estudio entre sujetos se utilizará una metodología experimental mixta. Los participantes se dividirán en tres grupos, como se observa en la Figura 2. Esto se hace con el objeto de evaluar cómo una emergencia vial y el entorno afectan al nivel de aceptación, a la intención de utilizar un VA y a la experiencia de usuario.

El primer grupo será el grupo de control. La situación ambiental para este grupo es la de la carretera con clima templado, por lo cual no estará expuesto a la situación de emergencia.

Contrario al grupo de control, el entorno del grupo 2 y del grupo 3 será la carretera con nieve, por lo cual estarán expuestos a la situación crítica. Esta situación consiste en que

el vehículo autónomo no es capaz de detectar el carril debido a la acumulación de nieve sobre la carretera, y por lo tanto tenderá a salirse del camino correcto. Cuando esto ocurra, el sistema les advertirá a los grupos, y les mostrará una señal de alerta. Para el grupo 2, el vehículo le solicitará la toma de control del volante para volver y mantener el carril correspondiente. Para el grupo 3, el mismo vehículo podrá corregir su fallo. Los tres grupos serán expuestos a escenarios de carretera tanto diurnos como nocturnos.

3.3 Arquitectura del sistema

Para una experiencia de realidad virtual completa, la simulación virtual inmersiva del vehículo autónomo está compuesta por un sistema visual, uno auditivo y uno háptico, como se observa en la Figura 3. Para la retroalimentación visual, se decidió utilizar un HMD, proporcionando así una inmersión estereoscópica. Se eligió el HP Reverb G2 Omnicept Edition (Hewlett-Packard Development Company

L.P., 2021), el cual tiene una resolución de 2160 x 2160 píxeles por ojo, y un amplio campo de visión de aproximadamente 114°. Como características adicionales, cuenta con un sistema de audio incorporado, y es capaz de capturar datos de usuario a través de los diferentes sensores que tiene incorporados. Estos sensores son útiles para este estudio ya que permiten evaluar la respuesta y el comportamiento del usuario. Entre ellos, se utilizan el sensor de pupilometría y seguimiento ocular, y el sensor de frecuencia cardíaca. A la vez, se usa el rastreador de movimiento para hacer un seguimiento del brazo del usuario y detectar cuando agarra el volante del vehículo.

Para una interacción y una experiencia de conducción realista entre el usuario y el vehículo autónomo, se optó por usar el juego de volante y pedales Logitech G29 (Logitech, 2015), el cual proporciona una retroalimentación de fuerza de motor dual y es compatible con el ordenador.

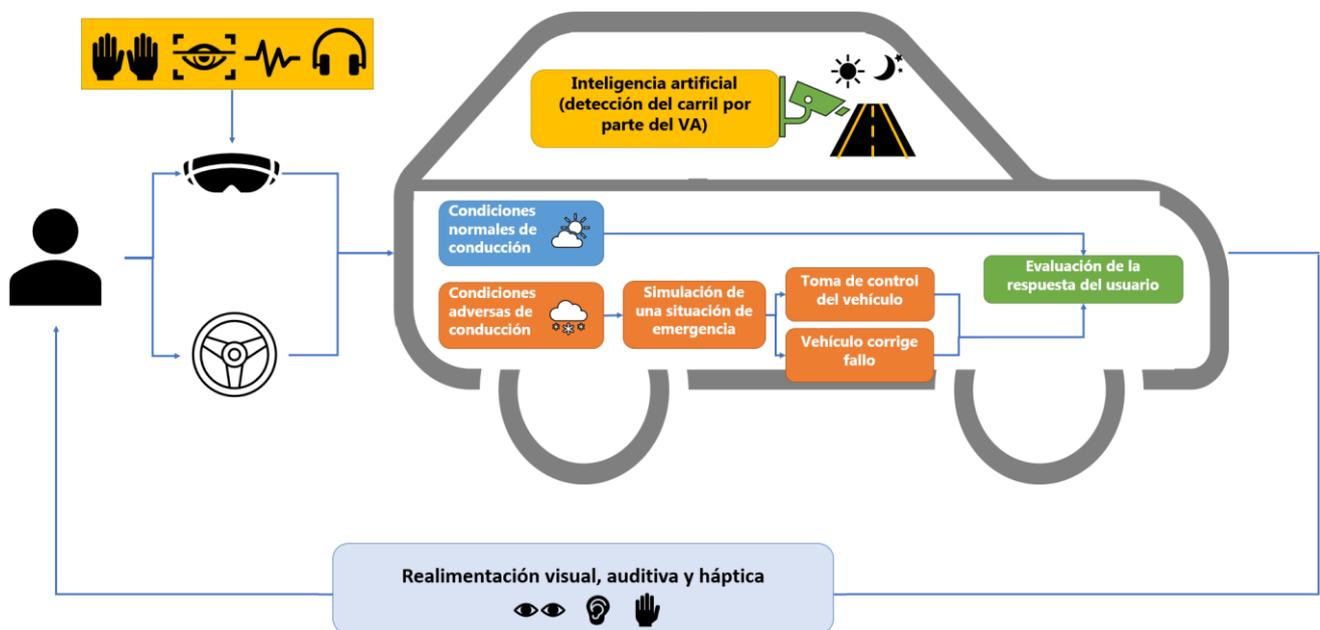


Figura 3: Arquitectura del sistema.

3.4 Simulador de vehículo autónomo inmersivo

La implementación del escenario de conducción virtual de un VA se realizó con el motor de juegos Unity 3D, dadas sus capacidades multiplataforma y de realidad virtual, y su compatibilidad con numerosos dispositivos.

El escenario corresponde al circuito de conducción del campus de la Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), e incluye peatones y tráfico de vehículos para hacerlo más realista, como se observa en la Figura 4. La simulación también comprende diferentes horas del día, y caída de nieve para la situación de emergencia de la no detección de carril.



Figura 4.: Simulación del tráfico de vehículos en el escenario virtual
Fuente: Modelo 3D del vehículo realizado por Boisclair (Boisclair, 2021).

Para la construcción del campus, que se observa en la Figura 5, se utilizó el software Blender junto con el Addon de OpenStreetMap (OSM) (Prochitecture, 2019), y algunas texturas de uso libre u obtenidas de fotografías de la universidad. Igualmente, se utilizaron modelos 3D no comerciales para los componentes de la escena.



Figura 5: Modelo 3D del campus de la UQTR. Creado con Blender¹ y con el complemento OpenStreetMap².

Respecto a la simulación de las condiciones ambientales en el entorno virtual, se optó por implementar un efecto de caída de partículas de nieve ligera en Unity 3D, con acumulación sobre la carretera. Se creó un sistema de partículas, y se ajustaron los parámetros de forma y tamaño de los copos de nieve, el área de cobertura de acuerdo al terreno, el número de partículas, la dirección y la velocidad de la caída de nieve. Para la acumulación de nieve sobre la carretera se habilitó la propiedad de colisión del sistema de partículas, fijando el valor de rebote en cero. Para que los copos no se deslicen, se fijó el valor de amortiguamiento en uno (Lmhpoly, 2021). Al mismo tiempo, para la simulación de la emergencia vial, se decidió incluir nieve ya depositada cubriendo partes de la carrera, especialmente las líneas del carril.

4. Diseño experimental

El experimento se diseñó para obtener datos relacionados con la intención de uso de los vehículos autónomos, y con la experiencia de usuario y el comportamiento de este al interactuar con este tipo de vehículo bajo diferentes condiciones ambientales. Antes de comenzar el experimento, se realizará un pre-test a fin de conocer el concepto inicial que los participantes tienen sobre los vehículos autónomos. Después del pre-test los participantes se dividirán en tres grupos, y se definirán el grupo de control y los grupos de tratamiento. Antes de comenzar los experimentos, el facilitador explicará a los participantes la prueba, junto con el entorno y los diferentes controles del coche. Así mismo, les entregará el consentimiento informado en el que se especifica la descripción, los riesgos y los criterios de exclusión del experimento.

¹ <https://www.blender.org/>

² <https://prochitecture.gumroad.com/l/blender-osm>

4.1 Participantes

Para esta investigación se invitarán a participar de manera voluntaria a personas entre los 18 y 65 años de edad. Los criterios de exclusión incluirán ciertas condiciones médicas como la presión arterial alta, antecedentes de ataques cardíacos, epilepsia, mareos por movimiento y mareos inducidos por el simulador (Zou, y otros, 2021).

4.2 Planeación

Como se mencionó en la sección de método, el escenario del experimento corresponde al campus de la Université du Québec à Trois-Rivières. En la Figura 6 se presenta el recorrido que harán los participantes, cuya distancia es de aproximadamente 1 kilómetro. El tiempo del recorrido bajo condiciones normales es alrededor de cinco minutos, sin embargo, para los grupos de tratamiento, los cuales estarán expuestos a la condición de caída de nieve y a la situación de emergencia, el tiempo será de aproximadamente 10 minutos.



Figura 6. Circuito del experimento

El experimento se realizará en dos sesiones teniendo en cuenta que la evaluación de la experiencia de usuario puede requerir un tiempo más largo para lograr un nivel concreto de comportamiento y actitud, en comparación con la evaluación de la usabilidad (Riegler, Riener, & Holzmann, 2021). Entre una sesión y otra, la única variación que habrá será la hora del día dentro del ambiente (escenario diurno o escenario nocturno).

4.3 Cuestionarios

Durante el experimento se recolectarán tanto datos cuantitativos como cualitativos, para inferir a partir de estos el nivel de aceptación de los vehículos autónomos, y el efecto de las condiciones ambientales sobre este (Riegler, Riener, & Holzmann, 2021).

- Datos cuantitativos
 - Tiempo de reacción del usuario en agarrar el volante para recuperar el control del vehículo ante la situación de emergencia.
 - Tiempo que tarda usuario en regresar al carril correspondiente.
 - Dirección de la mirada.
 - Ritmo cardíaco.
- Datos cualitativos

- Carga de trabajo por medio del cuestionario NASA TLX.
- Enfermedad del simulador por medio del cuestionario SSQ (simulator sickness questionnaire).
- Experiencia de usuario por medio del cuestionario User Experience Questionnaire (UEQ). También se considera el cuestionario AttrakDiff.
- Cuestionario personalizado.
- La usabilidad del ambiente por medio del cuestionario System Usability Scale (SUS).

5. Conclusiones

Diferentes investigaciones han demostrado que muchas personas no se sienten seguras con los vehículos autónomos porque no tienen conductor. Sin embargo, en muchas de estas, los participantes entrevistados no han conducido, ni han tenido contacto real con un vehículo de este tipo. Los estudios terminan basándose únicamente en la creencia preconcebida de los participantes sobre esta tecnología.

La interacción entre el ser humano y los VAs necesita ser explorada más a fondo, con el fin de entender cómo estos vehículos son percibidos y aceptados por las personas (Zou, y otros, 2021) bajo diferentes condiciones de conducción. Teniendo esto en cuenta, este trabajo presenta un diseño de investigación preliminar para evaluar la aceptación tecnológica de los vehículos autónomos, a través de una simulación inmersiva. Dentro de esta, el usuario puede interactuar con el vehículo, mientras se evalúa su comportamiento durante una situación de conducción normal,

y durante una situación de riesgo. Para esta última, el vehículo no es capaz de reconocer el carril debido a condiciones meteorológicas difíciles, como la acumulación de nieve en la carretera.

Es importante conocer a tiempo el grado de aceptación, la intención de uso, la experiencia de usuario y el comportamiento de este al interactuar con los VAs. Conocer igualmente la influencia del entorno en estas variables, permite identificar e implementar posibles mejoras en este tipo de vehículos para que los usuarios se sientan seguros dentro de ellos, y para que su interacción sea más agradable y satisfactoria (Koul & Eydgahi, 2018).

Como trabajo futuro, la investigación continuará con la realización del experimento, y con base en los resultados, se determinarán las posibles mejoras que se podrán incluir en los vehículos autónomos, en cuanto a interacción y conocimiento de la situación. Esto, para que los usuarios se sientan más seguros al interactuar con esta tecnología.

Agradecimientos

Este trabajo cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidad (MCIU), la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y la UE (FEDER) a través del contrato PERGAMEX-ACTIVE (RTI2018-096986-B-C32). También cuenta con el apoyo del FRQNT (Fonds de Recherche du Québec - Nature et Technologies), del Natural Science and Engineering Research Council of Canada, y del Canada Research Chair.

Referencias

- Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras. (2022). Vehículos Automatizados para la Seguridad. Obtenido de NHTSA: <https://www.nhtsa.gov/es/tecnologia-e-innovacion/vehiculos-automatizados-para-la-seguridad>
- Baldodano, S., Sibi, S., Martelaro, N., Gowda, N., & Ju, W. (2015). The RRADS Platform: A Real Road Autonomous Driving Simulator. *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (AutomotiveUI '15) (págs. 281–288). Nottingham, United Kingdom: Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- Boisclair, J. (2021). 2017 Kia Soul EV 3D Model. Institut de recherche sur l'hydrogène (IRH) de l'Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. doi:10.2307/249008
- Edmonds, E. (25 de Febrero de 2021). AAA: Today's Vehicle Technology Must Walk So Self- Driving Cars Can Run. Obtenido de AAA Newsroom: <https://newsroom.aaa.com/2021/02/aaa-todays-vehicle-technology-must-walk-so-self-driving-cars-can-run/>
- Hewlett-Packard Development Company L.P. (2021). HP Reverb G2 Omnicept Edition. Obtenido de <https://www.hp.com/us-en/vr/reverb-g2-vr-headset-omnicept-edition.html>
- Isidore, C. (2016). 75% de los conductores le tienen miedo a los vehículos autónomos. Obtenido de CNN: <https://cnnespanol.cnn.com/2016/03/09/75-de-los-conductores-le-tienen-miedo-a-los-vehiculos-autonomos/>
- Jin, Z., Swedish, T., & Raskar, R. (2018). 3d traffic simulation for autonomous vehicles in unity and python. *arXiv preprint arXiv:1810.12552* .
- Johnson-Roberson, M., Barto, C., Mehta, R., Sridhar, S. N., Rosaen, K., & Vasudevan, R. (2016). Driving in the matrix: Can virtual worlds replace human-generated annotations for real world tasks? . *arXiv preprint arXiv:1610.01983*.
- Ko, Y., Lee, Y., Azam, S., Munir, F., Jeon, M., & Pedrycz, W. (2021). Key Points Estimation and Point Instance Segmentation Approach for Lane Detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1-10. doi:10.1109/TITS.2021.3088488

- Koul, S., & Eydgahi, A. (2018). Utilizing Technology Acceptance Model (TAM) for driverless car technology Adoption. *Journal of technology management & innovation*, 13(12), 37 – 46.
- Lmhpoly. (13 de Diciembre de 2021). How to Make a Falling Snow in Unity. Obtenido de YouTube: <https://youtu.be/4wzubisvcyI>
- Logitech. (2015). Logitech G920/G29. Obtenido de <https://www.logitech.com/en-us/products/driving/driving-force-racing-wheel.html>
- Mohammed, A. S., Amamou, A., Ayevide, F. K., Kelouwani, S., Agbossou, K., & Zioui, N. (2020). The Perception System of Intelligent Ground Vehicles in All Weather Conditions: A Systematic Literature Review. *Sensors*, 20, 22. doi:10.3390/s20226532
- Narote, S. P., Bhujbal, P. N., Narote, A. S., & Dhane, D. M. (2018). A review of recent advances in lane detection and departure warning system. *Pattern Recognition*, 73, 216-234.
- Nascimento, A. M., Queiroz, A. C., Vismari, L. F., Bailenson, J. N., Cugnasca, P. S., Junior, J. B., & Almeida, J. R. (2019). The Role of Virtual Reality in Autonomous Vehicles' Safety. *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, (págs. 50– 57). doi:10.1109/AIVR46125.2019.00017
- Nees, M. A. (2016). Acceptance of Self-driving Cars: An Examination of Idealized versus Realistic Portrayals with a Self-driving Car Acceptance Scale. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60, págs. 1449–1453. doi:10.1177/1541931213601332
- Penmetsa, P., Hudnall, M., & Nambisan, S. (2019). Potential safety benefits of lane departure prevention technology. *IATSS Research*, 43(1), 21-26. doi:10.1016/j.iatssr.2018.08.002
- Pillai, A. (2017). Virtual Reality based Study to Analyse Pedestrian Attitude towards Autonomous Vehicles. Master's thesis. Aalto University. School of Science. Obtenido de <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201710307409>
- Prochitecture. (2019). OpenStreetMap and Terrain for Blender. Obtenido de <https://prochitecture.gumroad.com/l/blender-osm>
- Riegler, A., Riener, A., & Holzmann, C. (2021). A Systematic Review of Virtual Reality Applications for Automated Driving: 2009–2020. *Frontiers in Human Dynamics*, 3(689856), 1-29.
- Rödel, C., Stadler, S., Meschtscherjakov, A., & Tscheligi, M. (2014). Towards Autonomous Cars: The Effect of Autonomy Levels on Acceptance and User Experience. *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '14)*. (págs. 1-8). Seattle, WA, USA: Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. doi:10.1145/2667317.2667330
- Sportillo, D., Paljic, A., & Ojeda, L. (2018). Get ready for automated driving using virtual reality. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 102-113.
- Tang, J., Li, S., & Liu, P. (2021). A review of lane detection methods based on deep learning. *Pattern Recognition*, 111, 107623. doi:10.1016/j.patcog.2020.107623
- Tran, T. T., Parker, C., & Tomitsch, M. (2021). A Review of Virtual Reality Studies on Autonomous Vehicle–Pedestrian Interaction. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(6), 641–652. doi:10.1109/THMS.2021.3107517
- Zou, X., O'Hern, S., Ens, B., Coxon, S., Mater, P., Chow, R., . . . Vu, H. L. (2021). On-road virtual reality autonomous vehicle (VRAV) simulator: An empirical study on user experience. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 126, 103090. doi:10.1016/j.trc. 2021.103090