

Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

Trabajo Fin de Grado

Generación de casos de uso para la simulación de peatones en
Realidad Virtual.

Autor: Óscar Méndez Blanco

Tutor: Miguel Ángel Sotelo Vázquez

Cotutor: Sergio Martín Serrano

Curso 2022/2023

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

Trabajo Fin de Grado

Generación de casos de uso para la simulación de peatones en
Realidad Virtual.

Autor: Óscar Méndez Blanco

Tutor: Miguel Ángel Sotelo Vázquez

Cotutor: Sergio Martín Serrano

TRIBUNAL:

Presidente: Iván García Daza

Vocal 1º: Javier Alonso Ruiz

Vocal 2º: Miguel Ángel Sotelo Vázquez

FECHA: Julio de 2023

Agradecimientos

No quería comenzar a escribir la memoria de este estudio sin antes agradecer a Sergio Martín Serrano lo fácil que ha sido trabajar a su lado en el desarrollo de este proyecto, en el que hemos dedicado tantas horas de diseño del experimento y obtención de datos. Gracias por tu compromiso y actitud cada día, el aprendizaje ha sido continuo.

También quería agradecer a cada uno de los treinta voluntarios que se ofrecieron a formar parte de nuestro estudio. Como se suele decir, sin vosotros esto no hubiera sido posible, y en estos tiempos en los que nuestros días transcurren corriendo tras el reloj, hacer una pausa para dedicar casi una hora de vuestro tiempo a esta investigación, ha sido un gran regalo.

Índice

Resumen.....	1
Palabras Clave.....	1
Abstract	2
Key words	2
1. Descripción general del estudio.....	3
1.1. Introducción	3
1.2. Objetivos	4
2. Estado del arte	5
2.1. Uso de realidad virtual en el contexto de la conducción autónoma	5
2.2. Influencia de grupo en peatones en el contexto del cruce de vía	6
3. Implementación del experimento	7
3.1. Descripción del sistema.....	7
3.1.1. Inmersión en el mundo virtual.....	7
3.1.2. Hardware	9
3.1.3. Software	9
3.1.4. Etiquetado del momento de cruce	10
3.2. Desarrollo del experimento	11
3.2.1. Diseño del experimento.....	11
3.2.2. Procedimiento con el participante	15
3.3. Diferenciación por grupo social	17
4. Resultados	18
4.1. Resultado empírico.....	18
4.2. Resultados obtenidos del cuestionario	21
4.2.1. Pregunta 1. ¿Cómo de seguro te sentiste a la hora de cruzar?.....	21
4.2.2. Pregunta 2. ¿Cómo percibiste la frenada del vehículo?	22
4.2.3. Pregunta 3. ¿El resto de los peatones influyeron en tu decisión a la hora de cruzar?.....	24
4.2.4. Pregunta 4. ¿Qué peatones influyeron más en tu decisión?	25
4.2.5. Pregunta 5. ¿Cuánta actividad mental y perceptiva se requirió?.....	27
4.3. Escala de presencia en el mundo virtual	28
5. Conclusiones y líneas futuras	31
Bibliografía	33
Anexo 1. Cuestiones sobre percepción de la prueba.	34
Anexo 2. Consentimientos.	35
Anexo 3. Escala de presencia en el mundo virtual	37
Anexo 4. Código test t-Student.	39
Anexo 5. Código test Wilcoxon.	40
Anexo 6. Secuencia de fotogramas de una acción de cruce.	41

Índice de figuras

Figura 1. Comunicación vehículo autónomo-peatón mediante eHMI[3].....	5
Figura 2. Sistema de inmersión en el mundo virtual.....	9
Figura 3. Momento en el que el participante invade el carril.....	10
Figura 4. Escenario en la que se desarrolla el experimento.....	11
Figura 5. Posición inicial del experimento.....	13
Figura 6. El sujeto se dispone a cruzar.....	13
Figura 7. Peatones conservadores en ambas aceras.....	14
Figura 8. Peatones muestran actitud atrevida.....	14
Figura 9. Colocación sensores Xsens. N-Pose[13].....	15
Figura 10. Diagrama de procedimiento del experimento.....	17

Índice de tablas

Tabla 1. Variantes del experimento.....	11
Tabla 2. Personas involucradas en accidentes de tráfico por grupo social.....	18
Tabla 3. Perfiles de frenada y actitud de los peatones. Matriz de resultados esperada.....	19
Tabla 4. Matriz resultado del test t-Student.....	20
Tabla 5. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa.....	20
Tabla 6. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 1.....	21
Tabla 7. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 1.....	22
Tabla 8. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 2.....	23
Tabla 9. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 2.....	23
Tabla 10. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 3.....	24
Tabla 11. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 3.....	25
Tabla 12. Resultados cuestión 4.....	26
Tabla 13. Resultados cuestión 5.....	27
Tabla 14. Escala de presencia propia y del vehículo.....	28
Tabla 15. Escala de presencia de otros peatones y el entorno.....	29

Resumen

Este TFG se ha dedicado a la implementación de un experimento basado en realidad virtual (VR) con el objetivo de analizar diferentes factores que influyen en la acción de cruce de un peatón, obteniendo conclusiones aplicables al mundo real y datos que permitan el entrenamiento de modelos para el vehículo autónomo. El estudio se centra en el análisis de la influencia en la acción de dos variables: (1) el comportamiento de otros peatones que también cruzan la vía, y (2) la maniobra de frenado del vehículo. Para ello, se han involucrado a treinta participantes (N =30) y diseñado doce variantes del experimento que reproducen una acción de cruce en un entorno urbano.

Para el análisis de los resultados de cada sujeto se ha recogido el momento de cruce y las respuestas a un cuestionario que complementaron al finalizar cada variante del experimento sobre su percepción subjetiva. Estos datos son analizados mediante la distribución t de Student y el test de Wilcoxon, respectivamente.

Las conclusiones obtenidas gracias a los treinta voluntarios que participaron en el experimento demuestran que existe influencia grupal, acelerando la decisión de cruce en caso de que el resto de los peatones muestren una actitud atrevida y, por el contrario, generando duda cuando adoptan una postura conservadora.

Palabras Clave

Vehículo autónomo, influencia grupal en el comportamiento de peatones, realidad virtual (VR), CARLA, Unreal Engine 4 (UE4), Xsens

Abstract

This bachelor's thesis has focused on the implementation of a virtual reality (VR) experiment aimed at analyzing different factors that influence pedestrian crossing behavior, with the objective of obtaining conclusions applicable to the real world and data that can be used for training autonomous vehicle models. The study centers around the analysis of the influence of two variables on pedestrian crossing behavior: (1) the behavior of other pedestrians who are also crossing the road, and (2) the braking maneuver of the vehicle. To achieve this, thirty participants (N = 30) were involved, and twelve variations of the experiment were designed to replicate a crossing action in an urban environment.

For the analysis of the results for each participant, the crossing moment was recorded, as well as the responses to a questionnaire that was completed at the end of each experiment variation, focusing on their subjective perception. These data were analyzed using the Student's t-distribution and the Wilcoxon test, respectively.

The conclusions obtained from the thirty volunteers who participated in the experiment demonstrate the existence of group influence, where the decision to cross is accelerated when the rest of the pedestrians exhibit bold behavior, and conversely, generates doubt when they adopt a conservative posture.

Key words

Autonomous vehicle, group influence on pedestrian behaviour, virtual reality (VR), CARLA, Unreal Engine 4 (UE4), Xsens.

1. Descripción general del estudio

1.1. Introducción

Este trabajo pertenece al campo de los Vehículos Autónomos Cooperativos, el cual envuelve aquellos automóviles capaces de imitar, total o parcialmente, las capacidades humanas de manejo y control, recogiendo este tipo de conducción diferentes ventajas respecto a la tradicional, como podrían ser la seguridad vial (desaparición del error humano), la optimización de flujo y aumento de la productividad (ahorro de tiempo y energía empleado en la conducción).

El crecimiento exponencial tecnológico de los últimos años también se ha reflejado en el campo de la automoción. El vehículo autónomo quizá sea el máximo exponente del avance en este sector ya que hace relativamente poco lo tachábamos de futurista, debido a sus altos niveles de automatización[1] y, hoy en día, es una realidad. Debido a que innovar en este ámbito conlleva riesgos en cuanto a seguridad (impredecibilidad de comportamiento) y una alta inversión económica, se han buscado alternativas que reduzcan estos factores, encontrando en los simuladores y la realidad virtual un escenario en el que obtener datos de forma segura y a un coste más asumible, trasladables al mundo real.

En esto último se basa este trabajo. Utilizaremos esas herramientas y su enorme desarrollo en cuanto a realismo, manejabilidad y amplitud de opciones, para explotar la obtención de datos de comportamiento de peatones a la hora de enfrentarse a una situación de cruce de una carretera por la que circule un vehículo autónomo, analizando diferentes factores, principalmente la manera en la que se detiene el automóvil y la influencia del comportamiento de otros peatones que se encuentren en la misma situación.

Para ello, se ha diseñado un experimento en el que, dentro de uno de los mundos virtuales que ofrece el software CARLA, se sitúa al participante junto a un paso de cebra, haciendo uso de las gafas de realidad virtual Oculus Quest 2. Comienza ubicado girado noventa grados respecto al cruce y, tras escuchar un pitido por las gafas, deberá rotar, posicionándose de frente a la trayectoria a recorrer. En ese momento se encuentra junto con otros peatones, los cuales son avatares implementados con Unreal Engine 4 (UE4) y que actúan tal y como han deseado los responsables del proyecto, gracias a la precisión de los sensores de movimiento Xsens. Con estos, se han diseñado las trayectorias de peatones con diferentes actitudes en el momento de cruzar, con el objetivo de analizar la influencia que estos tienen sobre el sujeto que se somete a la prueba. Además, también se han utilizado para monitorizar los propios movimientos del participante, de los que se extraerán los datos.

En este estudio han participado treinta voluntarios, buscando en la medida de lo posible la mayor variedad en cuanto a edad y género. A todos ellos, se les ha introducido en escenarios diferentes a la hora de cruzar, manejando las dos siguientes variables, las cuales se detallarán en apartados posteriores:

- Actitud del resto de peatones: pudiendo ser atrevida, conservadora o muy conservadora (no cruzan).
- Tipo de frenada del vehículo: siendo muy conservadora (baja velocidad y frenado a una distancia considerable), conservadora (baja velocidad, pero frenada tardía) y agresiva (alta velocidad y frenado demasiado tardío).

Las variantes del experimento se expusieron en orden aleatorio a cada participante, con el fin de eliminar el posible efecto de la adaptabilidad a la realidad virtual por parte del sujeto.

Además de los resultados recogidos del estudio (momento de cruce en cada situación), al finalizar cada una de las pruebas se realizaba una serie de preguntas al participante de las que también se han extraído conclusiones sobre la percepción del sujeto de cada escena.

Para finalizar, se proponía al participante otra batería de cuestiones relacionadas con el realismo del entorno, el vehículo, el resto de los peatones y su propio avatar.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es medir el impacto de las variables (1) comportamiento de otros peatones y (2) maniobra de frenado del vehículo a la hora de cruzar la vía en términos de (a) retardo de la acción de cruce (análisis con el test t-student) y (b) percepción subjetiva de la prueba (análisis del cuestionario con el test Wilcoxon)

Además, de una batería de cuestiones finales, se conocerá el nivel de realismo de algunos componentes del mundo virtual (vehículo, otros peatones, entorno y avatar propio) según los participantes.

2. Estado del arte

En este capítulo se expondrá el punto de investigación en el que se encuentra actualmente el objeto de estudio de este trabajo.

2.1. Uso de realidad virtual en el contexto de la conducción autónoma

Debido al crecimiento exponencial de la calidad visual de los simuladores y la realidad virtual en los últimos años, en este apartado tan solo se contemplan estudios relativamente recientes cuyos resultados puedan ser más aplicables al mundo real (se han dedicado proyectos a analizar la viabilidad de trasladar datos desde el mundo virtual, por ejemplo, pidiendo al participante que estimase la velocidad y distancia a la que se encontraba el vehículo, obteniendo resultados favorables[2]). La mayoría de estos utilizan escenarios en el mundo virtual para analizar diferentes formas de comunicación entre vehículo autónomo y peatón, aportando una alternativa más segura y flexible a las pruebas realizadas en el mundo real. Un ejemplo de comunicación podría ser el sistema eHMI (Interfaz Máquina-Humano externa o *external HMI*, en inglés), el cual consiste en una barra led situada horizontalmente en la parte delantera del vehículo (Figura 1), cuyo color varía en función de si detecta la presencia de peatones con intención de atravesar la vía y, por tanto, detenerse, o por el contrario mantener su velocidad objetivo.



Figura 1. Comunicación vehículo autónomo-peatón mediante eHMI[3].

La intención de un vehículo automatizado es difícil de detectar debido a la ausencia de contacto visual con el conductor. Por tanto, estas pantallas externas deben estar cuidadosamente diseñadas ya que, según un estudio realizado a dieciocho personas [4], se concluyó que estos displays generan un grado muy alto de confianza que podrían crear situaciones peligrosas en caso de fallo o malentendido. Además, en otro experimento en el que participaron niños por debajo de los catorce años[5], se concluyó que estos tendían a confiar plenamente en la comunicación externa (más aun que las personas adultas), dejando a un lado la seguridad de la situación. Demostrado esto, aumenta la importancia de un diseño que evite información engañosa y, al mismo tiempo, prevenga el desarrollo de confianza excesiva.

En otro proyecto en realidad virtual[6] se ha buscado establecer una comunicación en la que el peatón fuese quien diese el primer paso mediante un gesto que el vehículo reconociese y actuase en consecuencia. Sin embargo, se concluyó que se generaba una mayor carga de trabajo y sensación de irritación por la falta de retroalimentación. Los estudios mencionados anteriormente no han considerado utilizar sistemas de captura de movimiento para introducir visualmente al sujeto en la simulación, lo que en este estudio mejorará la inmersión del participante en el mundo virtual y nos permitirá realizar el etiquetado del instante de cruce (es decir, detección automática del momento de invasión del carril de la vía), además de ser fundamental para añadir otros peatones en escena con un comportamiento completamente controlado. Muchos de los trabajos previos en realidad virtual han sido desarrollados con Unity (motor de videojuego multiplataforma) y operados con simuladores que no pertenecen específicamente al mundo del vehículo autónomo. No es el caso de CARLA, simulador utilizado en este proyecto. Este no trabaja con realidad virtual de forma autónoma, por lo que se buscará una solución que se detallará en apartados posteriores[7]. Cabe destacar también el crecimiento de Airsim, siendo este originalmente diseñado como simulador de vuelo.

2.2. Influencia de grupo en peatones en el contexto del cruce de vía

Hay que destacar que no ha sido fácil encontrar estudios basados en la investigación sobre este aspecto, siendo aún más difícil si se filtrase por el campo de la conducción autónoma o la realidad virtual.

En 1996, un estudio[8] demostró que a menor número de peatones cruzando la intersección, mayor era la atención que se prestaba al tráfico, independientemente de la edad, deduciendo así que atravesar la vía en grupo hace que seamos menos cautos a la hora de cruzar. Además, se diferenció que un peatón modelo de alto estatus era más influyente que uno de bajo[9], así como una persona que se saltase la ley respecto a una que no lo hiciese[10], a pesar de los antecedentes publicados por un grupo de investigadores en 1970[11], donde se afirmaba que la clase social y el género no afectaban a la influencia en estos casos.

En el año 2000, se ofreció a 203 estudiantes de una media de 24 años, en Israel, una lista de cuestiones sobre diferentes factores que afectan a la hora de realizar el cruce de una vía[12]. Centrándonos en los resultados que nos conciernen, se obtuvo que, en presencia de otros peatones que no cruzan, aumenta la tendencia a esperar. Además, refleja que los factores que más influyen en los hombres son las condiciones físicas propias (estado de ánimo, cansancio, ...) y el volumen de tráfico, mientras que en las mujeres es el comportamiento del resto de peatones, a pesar de ser más conscientes de los riesgos de no respetar las normas de tráfico.

Otro estudio[13], ya en el año 2022, desarrolló un experimento en realidad virtual, relacionado con el vehículo autónomo, en el que se deseaba conocer, entre otros factores, el efecto de la presencia de otros peatones y si afectaba a la atención que prestaba el participante a la comunicación externa del vehículo (siendo esta comunicación eHMI). Su forma de proceder fue colocar al sujeto a la izquierda del resto de peatones, de tal forma que pudiese ver claramente la parte delantera del coche. Los avatares que se introdujeron en escena mostraban siempre una actitud atrevida. Se concluyó que el tiempo total que el participante permanecía en la acera, era significativamente mayor en la situación en la que no había otros peatones. Además, se comprobó que el tiempo total de la acción aumentaba, luego el resto de los peatones también aumentaba la velocidad del cruce de una acera a otra.

3. Implementación del experimento

3.1. Descripción del sistema

Este experimento se basa en la idea de integrar a un sujeto, junto con otros avatares, en un escenario virtual usando el software CARLA y Unreal Engine 4 (UE4), el cual es un motor de juego creado por la compañía Epic Games, principalmente desarrollado para ‘shooters’ en primera persona[14]. Con esto, se obtiene una respuesta en tiempo real a sus movimientos, tratando de generar una experiencia lo más realista posible, de forma que el participante se sienta plenamente inmerso en el mundo virtual. En este apartado se describirán las herramientas utilizadas para alcanzar tal objetivo.

3.1.1. Inmersión en el mundo virtual

El simulador de código abierto CARLA se implementa sobre UE4, que proporciona alta calidad de renderizado y una física realista. CARLA funciona como un sistema servidor-cliente, donde la comunicación se realiza a través de ‘sockets’. Simula escenarios de tráfico dinámico y proporciona una interfaz entre el mundo virtual creado con UE4 y los agentes que operan dentro del escenario. Las principales características para la inserción de comportamientos de agentes reales en la simulación se basan en los siguientes puntos:

- Control de avatar: CARLA posee plantillas que incluyen actores como vehículos (simulando su física y con funciones que proporcionan comando de conducción) y peatones (también con opción de dirigir mediante un controlador) diseñadas para ser

gestionadas a través de la API Python. Sin embargo, no incluyen una amplia gama de comportamientos, aspecto que puede ser limitante. Las herramientas disponibles para modificar esas plantillas mediante captura de movimientos reales son: Oculus Quest 2 (seguimiento de cabeza y posición de usuario) y controladores de movimiento (seguimiento de manos). Oculus Quest 2 posee un sistema de distancia de seguridad que delimita el área de juego. Buscaremos que esta sea acorde al espacio de trabajo en el escenario virtual de CARLA. El primer paso para lograr la inmersión es modificar la plantilla del peatón mediante la adición de una cámara virtual a su cabeza para obtener sensación de primera persona, adaptando la posición en tiempo real. Además, el cuerpo será un avatar creado en UE4. Con esto, el sujeto tendrá libertad de movimiento dentro del área de seguridad definida.

- Seguimiento corporal: Para el control corporal completo, el seguimiento de posición (gafas de realidad virtual) y manos (controladores) no es suficiente. Se utilizará el sistema Xsens de captura de movimiento, el cual consiste en un conjunto de diecisiete sensores inerciales inalámbricos colocados mediante cintas con velcro en las articulaciones. Estos incluyen un software para calibrarlos y obtener datos precisos de movimiento. Se utilizará también para diseñar las trayectorias de cada uno de los avatares que acompañarán al sujeto y sus diferentes actitudes.
- Diseño de sonido: CARLA es un simulador sin audio, luego se introducirá sonido posicional en el entorno para mejorar la inmersión, ya que se considera un aspecto esencial para la interacción con el entorno. Se asigna un sonido a cada participante de la escena (sonido de motor parametrizado por aceleración, cantos de pájaros, conversaciones de los peatones...)
- Simulación de escenarios: Se han diseñado diferentes escenarios de tráfico dentro de una de las ciudades que ofrece el software CARLA, controlando el comportamiento del vehículo mediante código. Mediante el módulo TrafficManager, se han manejado parámetros del vehículo (velocidad objetivo, aceleración, punto de inicio de deceleración, etc.) que nos han permitido generar escenas con diferentes comportamientos.

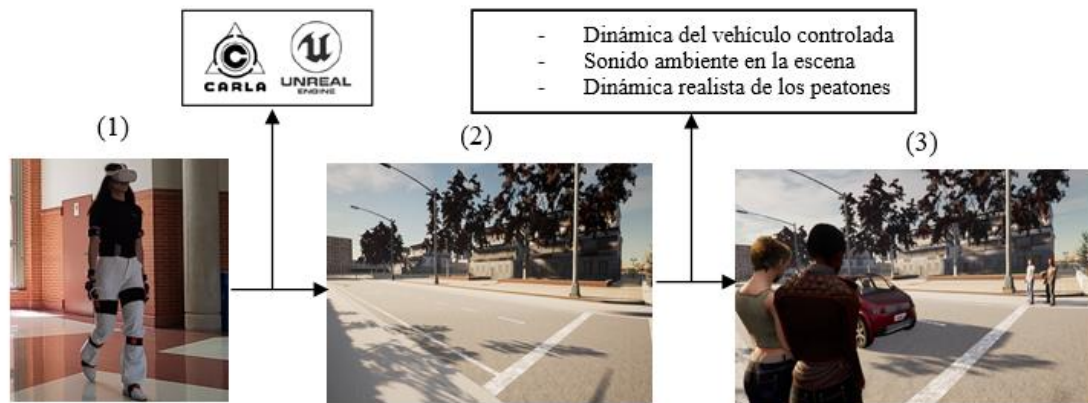


Figura 2. Sistema de inmersión en el mundo virtual.

3.1.2. Hardware

El hardware que se ha utilizado en el experimento es el siguiente:

- Gafas de realidad virtual Oculus Quest 2: Creado por Meta, cuenta con un procesador de 6GB de RAM, dos lentes ajustables de 1832 x 1920, una frecuencia de actualización de 90 Hz y una memoria interna de 256 GB. Conectividad Wifi 6, Bluetooth 5.1 y USB Tipo C, soporte para SteamVR y altavoces 3D.
- Kit de sensores Xsens para el seguimiento corporal: Incluye 18 sensores inerciales inalámbricos, uno de ellos adaptable a un complemento. La transmisión de datos de los sensores al transductor (que se conecta por USB al PC) se hace con tecnología de radiofrecuencia.
- Área suficientemente amplia y sin obstáculos en el mundo real para la realización de la prueba en el mundo virtual.
- Ordenador en el que se inicia CARLA y se lanza la vista previa de realidad virtual en el editor de UE4.

3.1.3. Software

El software utilizado para el desarrollo del estudio es el siguiente:

- Sistema operativo Windows.
- Simulador CARLA.
- Motor gráfico Unreal Engine 4.
- MVN Analyze Pro-2022.0.2 para la calibración y recogida de datos de los sensores.
- Python API para el diseño de la escena. Código ejecutable.

- Microsoft Office (documentación y manejo de datos).
- MATLAB: Análisis de los datos obtenidos (prueba t-student y test Wilcoxon).

3.1.4. Etiquetado del momento de cruce

Para automatizar el reconocimiento del instante en el que el participante invade el carril de la vía (Figura 3) y, por tanto, se dispone a cruzar, se han añadido una serie de sentencias en el código ejecutable que define la situación (spawn del vehículo, aceleración, deceleración, spawn del resto de peatones...).



Figura 3. Momento en el que el participante invade el carril.

El cliente que se conecta al simulador genera un archivo de extensión ‘.txt’ que nos aporta toda la información del experimento (frame, distancia de frenado, velocidad...) junto con una variable que tiene valor cero cuando el participante aún no ha invadido la vía y cambia a uno en el momento que el sujeto lo hace. Para ello, se compara la coordenada ‘y’ de la posición del peatón con el umbral que marca la entrada en el carril, que, en este caso, es de valor -7853, como se muestra en el siguiente código:

```
#cruza cuando sea más alto que -7853 en el eje 'y' (hablamos de la posición del peatón)-
float(int(" ".join(pedestrian_position[1:2])))

if float(int(" ".join(pedestrian_position[1:2]))) < -7853:
    cruza = 0
    print("NO CRUZA")
else:
    cruza = 1
    print("CRUZA")
```

3.2. Desarrollo del experimento

Una vez expuestos los recursos con los que se desarrolló el experimento, en este apartado se detallará el diseño de la prueba y la manera de proceder con cada uno de los treinta voluntarios que han ofrecido una media de cuarenta y cinco minutos de su tiempo, haciendo posible la realización del estudio.

3.2.1 Diseño del experimento

El estudio se compone de trece pruebas, todas ellas llevadas a cabo en el mismo escenario (Figura 4, carretera de un único sentido con el paso de peatones al final de esta), pero estableciendo variantes en cuanto a la frenada del vehículo y la actitud del resto de peatones a la hora de cruzar. Este es el número mínimo de test que se consideraron necesarios (definidos en la Tabla 1) para poder analizar la influencia grupal en peatones (tres actitudes diferentes), y su relación con el perfil de frenado (tres maniobras de deceleración diferentes) junto con tres tests de calentamiento sin peatones.



Figura 4. Escenario en la que se desarrolla el experimento.

Tabla 1. Variantes del experimento.

TEST	Tipo de frenada	Descripción	Punto de frenada total	Actitud de los peatones	Descripción
0	-	Sin deceleración	-	Sin peatones	-
1	Moderada	Velocidad= 5 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Sin peatones	-
2	De emergencia	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 2 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Sin peatones	-
3	Atropello	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Posterior al cruce (12.33 m)	Sin peatones	-

4	Moderada	Velocidad= 5 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Conservadores	Cruce 1.1 segundos después de detenerse el vehículo
5	Moderada	Velocidad= 5 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Actitud intermedia	Cruce en el momento que el vehículo comienza a frenar
6	Moderada	Velocidad= 5 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Anticipados	Cruce cuando el vehículo se encuentra a 25 metros
7	De emergencia	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 2 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Conservadores	Cruce 1.1 segundos después de detenerse el vehículo
8	De emergencia	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 2 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Actitud intermedia	Cruce en el momento que el vehículo comienza a frenar
9	De emergencia	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 2 m/s ² a 6.94 m del cruce	Previa al cruce	Anticipados	Cruce cuando el vehículo se encuentra a 25 metros
10	Atropello	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Posterior al cruce (12.33 m)	No cruzan	Se asoman, pero no lo consideran seguro y no cruzan
11	Atropello	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Posterior al cruce (12.33 m)	Riesgo excesivo	Se produce el atropello
12	Atropello	Velocidad= 8.33 m/s Desaceleración = 1 m/s ² a 6.94 m del cruce	Posterior al cruce (12.33 m)	Riesgo alto, pero actúan ágilmente	Cruzan cuando el coche se encuentra a 25 metros, por lo que traspasan el carril del coche antes de su llegada.

Como ya se ha comentado en apartados previos, estas pruebas aparecían a cada participante en un orden distinto, pero con una estructura común:

0 – 1 2 3 – 4 5 6 7 8 9 10 – 11 12

El test 0 siempre aparece en primer lugar, utilizando este para la familiarización del sujeto con el pitido que marca el inicio de la prueba, la escena y la llegada del coche, además de favorecer la inmersión en el mundo virtual. A continuación, los test 1, 2 y 3, en los que no hay otros peatones, con el fin de aumentar la complejidad de la situación gradualmente. Estos test no se utilizarán para la obtención de conclusiones y servirán de calentamiento de cara a los posteriores, con el objetivo de aumentar la inmersión en el mundo virtual gradualmente antes de comenzar con las pruebas en las que se basan los resultados. Tras estos, los test 4,5,6,7,8,9 y 10, en los que ya aparecen otros peatones, dejando en último lugar los test 11 y 12, situaciones de atropello que podrían condicionar al participante en caso de aparecer al comienzo del estudio. Un ejemplo de este orden aleatorio podría ser el siguiente.

0 – 2 3 1 – 7 4 10 8 5 6 9 – 12 11

Cada prueba comienza con el participante girado noventa grados respecto al paso de cebra (Figura 5), dando la espalda al sentido por el que se aproximará el vehículo.

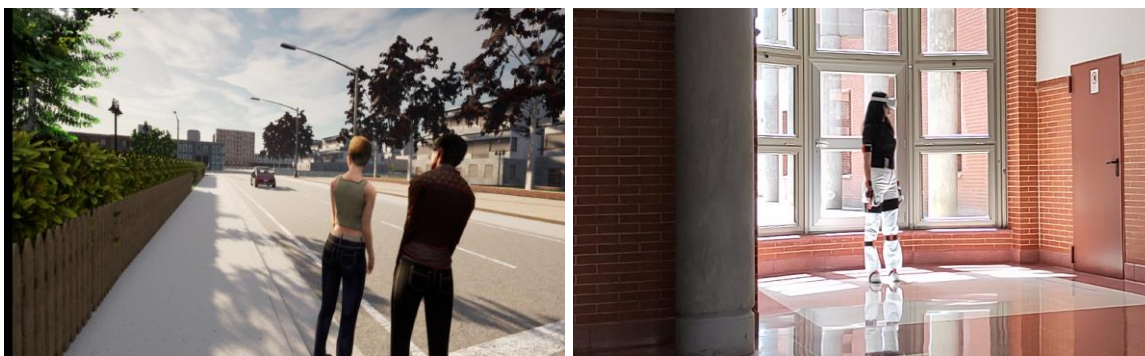


Figura 5. Posición inicial del experimento.

Cuando el coche se encuentre a cuarenta metros del cruce, se reproducirá un pitido por las gafas de realidad virtual, señal de que el sujeto debe girarse de tal forma que se encuentre frente al paso de cebra (como se muestra en la Figura 6) y cruzar cuando lo considere oportuno.



Figura 6. El sujeto se dispone a cruzar.

Además, al finalizar cada uno de los cruces, se someterá al participante a las siguientes preguntas, con el fin de conocer la percepción subjetiva del sujeto de cada una de las doce situaciones (Anexo 1. Cuestiones sobre percepción de la prueba.):

1. *¿Cómo de seguro te sentiste a la hora de cruzar?*

Respuesta en escala de 1 a 7, siendo un 1 ninguna confianza y un 7 muchísima confianza.

2. *¿Cómo percibiste la frenada del vehículo?*

Respuesta en escala de 1 a 7, siendo un 1 frenada demasiado conservadora y un 7 frenada demasiado agresiva.

3. *¿El resto de los peatones influyeron en tu decisión a la hora de cruzar?*

Respuesta en escala de 1 a 7, siendo un 1 nada de influencia y 7 muchísima influencia.

4. *¿Qué peatones influyeron más en tu decisión a la hora de cruzar?*

Pregunta de opción múltiple, donde NT identifica a los peatones que parten de la misma acera que el sujeto, IF a los que comienzan en la acera de en frente y B a ambos por igual.

5. *¿Cuánta actividad mental y perceptiva se requirió? ¿La tarea fue fácil o exigente, simple o compleja?*

Respuesta en escala de 1 a 20, siendo 1 una tarea de baja actividad mental o sencilla y 20 una tarea de alta complejidad.



Figura 7. Peatones conservadores en ambas aceras.



Figura 8. Peatones muestran actitud atrevida.

3.2.2 Procedimiento con el participante

En primer lugar, el voluntario debe leer un documento (*Anexo 2. Consentimientos.*) en el que se enuncia de forma general en qué consiste la prueba a la que va a someterse y, posteriormente, firmar su consentimiento para la obtención de datos y su análisis dentro de los objetivos del proyecto de investigación. Será a partir de este momento en el que, al asociar un ID al participante (en este caso, números del 0 al 29), no se volverán a utilizar sus datos personales a lo largo del estudio.

A continuación, se colocan en el sujeto tanto las gafas de realidad virtual, como los diecisiete sensores corporales Xsens en las ubicaciones marcadas en el manual y se procede a la calibración de estos. Para ello, el participante debe comenzar en una posición erguida con la mirada al frente, postura identificada como “N-Pose”, para después moverse durante quince segundos y terminar de nuevo en la misma pose.



Figura 9. Colocación sensores Xsens. N-Pose[13].

Confirmada una correcta calibración, el responsable que se encuentra junto al participante acompañará al sujeto a cruzar al otro lado de la vía, con el objetivo de aumentar la comodidad de aquellos que sea su primera vez en un mundo virtual y que reconozcan la rejilla que delimita la zona de seguridad. Una vez familiarizado con el entorno, comienza la explicación detallada de la prueba a realizar, tratando que esta sea lo más concisa posible, pero aclarando los siguientes puntos:

- Cuál es la posición inicial, tanto en ubicación como en orientación.
- El momento de giro será cuando escuche el pitido, no antes ni después.

- En la primera situación no se debe cruzar, tan solo girarse tras el pitido y observar la llegada del coche.
- A partir de esta, deberá cruzar, en condiciones de seguridad, pero sin ser obligatorio que el coche este parado por completo para realizar la acción.
- Una vez finalizado el cruce debe esperar en la otra acera, ya que será el lugar donde se le expongan una serie de preguntas. El responsable le indicará cuando puede regresar a la posición inicial para comenzar con la siguiente prueba.

Cuando se termina con la última acción de cruce y antes de retirar las gafas de realidad virtual, se pide al participante que preste atención a diferentes detalles del escenario que han podido pasar desapercibidos durante de la realización de la prueba, como podrían ser las señales de tráfico, edificios, movimiento propio, etc. El objetivo de esto último es que puedan responder correctamente a una última batería de preguntas (*Anexo 3. Escala de presencia en el mundo virtual.*) relacionadas con el realismo que les ha transmitido su estancia en el mundo virtual.

Este ha sido el procedimiento que se ha seguido con cada participante. Al ser dos responsables a cargo del experimento, ha permitido que este proceso se desarrollase en una media de cuarenta y cinco minutos, ya que se podían repartir funciones y avanzar paralelamente:

Responsable 1:

- Explicación inicial de la calibración de sensores, la prueba a realizar y las preguntas que se le van a plantear. Familiarización con el entorno virtual
- Iniciar grabación de cada prueba en la cámara externa.
- Al finalizar cada prueba, detener grabación y rellenar el cuaderno de respuestas a las preguntas propuestas.
- Encargado de que nadie externo a la prueba invada la zona de seguridad en los momentos de cruce.

Responsable 2:

- Comprobación de una correcta conexión inicial de las gafas y calibración de los sensores.
- Lanzar cada uno de los scripts que definen las diferentes variantes.
- Recoger y organizar los datos obtenidos al final cada prueba (grabación vista de peatón, grabación Xsens)
- Comunicar al otro responsable (poseedor del cuaderno de resultados) el número de grabación Xsens correspondiente y el frame de cruce que nos permitirá posteriormente conocer la distancia al coche en el momento de invasión de la vía.

- Comprobar desde el ordenador que la experiencia está siendo satisfactoria (posibles problemas de conexión, lag...)

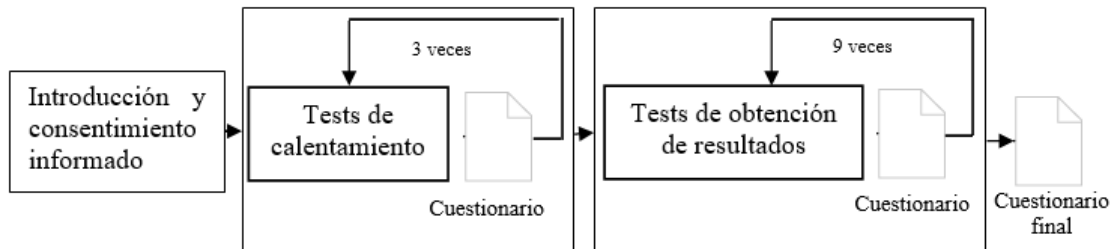


Figura 10. Diagrama de procedimiento del experimento.

3.3. Diferenciación por grupo social

A pesar de que la muestra recogida en este estudio no contiene una variedad suficiente para considerar factores sociales, en este apartado se quiere reflejar que sí ha sido algo que se ha tenido en cuenta y que por ello se ha buscado, en la medida de lo posible, convocar a participantes de diferentes grupos sociales (edad, sexo, etc.), sabiendo que se pueden encontrar diferencias entre ellos en cuanto a influencia grupal.

El Instituto Nacional de Estadística[15] nos ofrece la cantidad de personas involucradas en accidentes de tráfico diferenciadas por grupo social, en unidades de tanto por 100.000, en el año 2021 (Tabla 2). Aunque incluye también aquellos que circulaban como conductor del vehículo, nos servirá de guía para reconocer los grupos que muestran actitudes más descuidadas y, por tanto, deducimos una postura más atrevida y un posible mayor grado de influencia en aquellas situaciones en las que el resto de los peatones no cruce en condiciones totalmente seguras.

Tabla 2. Personas involucradas en accidentes de tráfico por grupo social.

	2021	
	Hombres	Mujeres
Total Nacional		
Menores de 1 año	1,148 ¹	0,000 ¹
De 1 a 14 años	0,490 ¹	0,293 ¹
De 15 a 29 años	6,478 ¹	1,503 ¹
De 30 a 39 años	6,376 ¹	1,228 ¹
De 40 a 44 años	5,802 ¹	0,577 ¹
De 45 a 49 años	5,933 ¹	0,970 ¹
De 50 a 54 años	6,739 ¹	1,076 ¹
De 55 a 59 años	6,982 ¹	0,855 ¹
De 60 a 64 años	6,609 ¹	1,591 ¹
De 65 a 69 años	5,325 ¹	1,819 ¹
De 70 a 74 años	4,856 ¹	1,925 ¹
De 75 a 79 años	7,447 ¹	2,971 ¹
De 80 a 84 años	9,500 ¹	2,637 ¹
De 85 a 89 años	8,150 ¹	3,624 ¹
De 90 a 94 años	5,558 ¹	1,586 ¹
95 y más años	2,928 ¹	1,988 ¹

En este estudio han participado veintidós hombres y ocho mujeres, alcanzando un rango de edad desde los veintiún años hasta los sesenta y uno, y obteniendo una media de edad de veintisiete años, valor que nos coloca en uno de los rangos de edad que más sufre accidentes de tráfico, pudiendo relacionar este hecho con una actitud más atrevida o desprevenida que la media de la población.

4. Resultados

Se obtienen dos resultados diferentes. En primer lugar, identificado como empírico, se estudiará la influencia grupal en peatones basándonos en la distancia a la que se encontraba el coche en el momento de cruce. Por otro lado, gracias a las preguntas que se formularon a los participantes al finalizar cada prueba, se han podido obtener conclusiones sobre la percepción subjetiva de los voluntarios.

Antes se debe comentar que, debido a problemas de conexión con las gafas de realidad virtual, la experiencia con uno de los participantes no fue satisfactoria (ID = 2) y, por ello, no se ha tenido en cuenta a la hora de extraer resultados. Por tanto, las conclusiones están basadas en la participación de los veintinueve participantes restantes (N=29).

4.1. Resultado empírico

Como se explicó en el apartado de etiquetado del momento de cruce, se conoce el frame en el que se produce la invasión de la vía, estando este directamente relacionado con una distancia en cada perfil de frenada, obteniendo así un valor que nos permite conocer cuánto antes o después se procedió a cruzar en cada variante.

Con el objetivo de determinar si la diferencia observada entre dos test es estadísticamente significativa se utilizará la herramienta t de Student (*Anexo 4. Código test t-Student.*). Esta devolverá un valor de probabilidad que nos permitirá aceptar o rechazar las hipótesis que se definirán a continuación, comparándolas con un valor de confianza que, en este caso se fijará a 0.9 (90%).

Esto permitirá obtener una matriz en la que se comparen uno a uno los diferentes test y en la que se introducirá un cero en caso de que se acepte la hipótesis nula y un uno en el caso de que se rechace, aceptando la hipótesis alternativa, siendo estas:

- Hipótesis nula: la puntuación obtenida en el test-fila **no es significativamente mayor** a la puntuación obtenida en el test-columna
- Hipótesis alternativa: la puntuación obtenida en el test-fila **es significativamente mayor** a la puntuación obtenida en el test-columna

El valor de p es la probabilidad de que las diferencias observadas entre el test fila y el test columna sean significativas. Como se quiere fijar el valor de confianza en 0.9, se pondrá el umbral de aceptación/rechazo en el 90%. En la matriz de la Tabla 5 se muestran estas probabilidades, en porcentaje, que nos ayudarán a la hora de obtener las conclusiones.

Antes de recoger los resultados, se diseñó una matriz con los valores esperados de este estudio, teniendo en cuenta las diferentes variantes, la cual se muestra a continuación (Tabla 3) junto con un pequeño recordatorio de los perfiles de frenada y actitudes de grupo de los peatones:

Tabla 3. Perfiles de frenada y actitud de los peatones. Matriz de resultados esperada.

Tipo de frenada	Test	Actitud de los peatones								Test
Moderada	1,4,5,6	Conservadores								4,7,10
De emergencia	2,7,8,9	Intermedia								5,8,11
Atropello	3,10,11,12	Anticipados								6,9,12

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	¿?	¿?	1	1	1	1	1	1
5	¿?	-	¿?	1	1	1	1	1	1
6	¿?	¿?	-	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	-	¿?	¿?	1	1	1
8	0	0	0	¿?	-	¿?	1	1	1
9	0	0	0	¿?	¿?	-	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	-	¿?	¿?
11	0	0	0	0	0	0	¿?	-	¿?
12	0	0	0	0	0	0	¿?	¿?	-

Donde,

- Las casillas de valor 1 son comparaciones entre test con distintos perfiles de frenada, donde el test fila tiene una frenada más conservadora y por tanto se intuye una mayor distancia con el coche en el momento de cruce.
- Las casillas de valor 0 son los casos opuestos a los mencionados anteriormente, donde el test fila tiene una frenada más tardía que los test columna y por tanto se intuye una menor distancia con el coche a la hora de cruzar.
- Las casillas identificadas con “¿?” son aquellas en las que el perfil de frenada es el mismo y tan solo varía la actitud de los peatones, siendo estas el objetivo principal del estudio y no fácilmente predecibles antes de recoger resultados.

Una vez realizado el estudio, se confirma que las casillas de valor 0 y 1 de la matriz esperada coinciden con los resultados y se pueden obtener conclusiones sobre los casos que no se habían predicho:

Tabla 4. Matriz resultado del test t-Student.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	0	0	1	1	1	1	1	1
5	0	-	0	1	1	1	1	1	1
6	0	1	-	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	-	0	0	1	1	1
8	0	0	0	0	-	0	1	1	1
9	0	0	0	1	1	-	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	-	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	-	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Tabla 5. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	59.25	10.63	100	100	100	100	100	100
5	40.74	-	7.19	100	100	100	100	100	100
6	89.37	92.81	-	100	100	100	100	100	100
7	0	0	0	-	58.5	7.51	100	100	100
8	0	0	0	41.42	-	5.59	100	100	100
9	0	0	0	92.5	94.42	-	100	100	100
10	0	0	0	0	0	0	-	42.74	17.89
11	0	0	0	0	0	0	57.26	-	13.07
12	0	0	0	0	0	0	82.22	86.93	-

Se puede afirmar lo siguiente, con un 90% de confianza o más de que las diferencias entre test son significativas:

1. Del test 6 se obtienen distancias significativamente mayores respecto al test 5 (92.81%). Por tanto, se concluye que **una actitud anticipada del grupo de peatones acelera la acción respecto a una actitud intermedia, ante el mismo perfil de frenada (moderada).**
2. En el test 9 se reflejan distancias significativamente mayores respecto a los test 7 (92.5%) y test 8 (94.42%), de lo que se concluye que **una actitud anticipada del resto de peatones acelera la acción de cruce respecto a actitudes conservadoras e intermedias, ante el mismo perfil de frenada (de emergencia).**

Además, la tabla de probabilidades (Tabla 5) nos ofrece otras conclusiones de interés sobre los casos en los que la frenada es tardía o de atropello. En el test 12 (peatones anticipados), aunque no supera el 90% de seguridad que se había fijado, también se puede concluir que las distancias respecto al coche a la hora de cruzar son mayores que en los test 10 (82.22%, peatones conservadores) y test 11 (86.93%, peatones de actitud intermedia).

4.2. Resultados obtenidos del cuestionario

También se analizaron las respuestas obtenidas a cada una de las preguntas de percepción. Para determinar si existen diferencias significativas entre dos test, se utilizará el test Wilcoxon (*Anexo 5. Código test Wilcoxon.*), siendo este una alternativa a la prueba t-student cuando no se puede suponer la normalidad de las muestras[16].

4.2.1. Pregunta 1. ¿Cómo de seguro te sentiste a la hora de cruzar?

Recordando que puntuaciones significativamente mayores (1 en la matriz resultado, [Tabla 6](#)) implicarían situaciones más seguras, estos son los resultados:

Tabla 6. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 1.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	0	0	1	1	1	1	1	1
5	0	-	0	1	1	1	1	1	1
6	0	0	-	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	-	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	-	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	-	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	-	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	-	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Tabla 7. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 1.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	60.53	23.76	99.83	100	100	100	100	100
5	38.73	-	14.77	99.88	100	100	100	100	100
6	75.7	84.95	-	99.99	100	100	100	100	100
7	0.17	0.12	0	-	94.06	99.04	97.84	100	100
8	0	0	0	5.76	-	79.7	86.52	99.94	99.95
9	0	0	0	0.92	19.86	-	62.99	99.4	99.48
10	0	0	0	2.08	13.14	36.42	-	96.47	95.52
11	0	0	0	0	0.06	0.55	3.4	-	42.33
12	0	0	0	0	0.05	0.5	4.33	57.04	-

Como se podía suponer, los test en los que la frenada era más conservadora (4,5,6) fueron percibidos como situaciones más seguras. Se observan valores altos de probabilidad en la Tabla 7 de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa contrastando el test 6 con los test 4 (75.7%) y test 5 (84.95%). Esto podría ser debido a que, ante una situación tan clara de cruce previo a la llegada del vehículo (frenada muy conservadora en los tres casos), que los peatones tengan actitudes atrevidas (test 6) aportan mayor seguridad respecto a los test 4 y 5 (actitudes más conservadoras), al confirmar tu decisión de cruzar, haciéndolo contigo.

Por el contrario, en el test 8 (actitud media de los peatones), donde la frenada es de emergencia, se observa que, aunque no con un 90% de seguridad, se obtiene una probabilidad alta (79.7%) de que una mayor puntuación en el test 8 sea significativa y, por tanto, una situación más segura respecto al test 9 (donde los peatones muestran actitud atrevida). Así mismo, el test 7, donde los peatones adquieren una postura conservadora, ha sido significativamente considerado una situación más segura respecto al resto de variantes con el mismo perfil de frenada (test 8 y test 9)

Por último, las situaciones de atropello son las percibidas como menos seguras por los participantes, siendo dentro de estas el test 10 (actitud muy conservadora de los peatones) la considerada más segura.

4.2.2. Pregunta 2. ¿Cómo percibiste la frenada del vehículo?

Recordando que puntuaciones significativamente mayores (1 en la matriz resultado, [Tabla 8](#)) implicarían situaciones en las que la frenada ha sido considerablemente más agresiva, estos son los resultados:

Tabla 8. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 2.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	-	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	-	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	-	0	0	0	0	0
8	1	1	1	0	-	0	0	0	0
9	1	1	1	1	0	-	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	-	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	-	1
12	1	1	1	1	1	1	0	0	-

Tabla 9. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 2.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	31.35	65.52	0	0	0	0	0	0
5	68.01	-	85.52	0	0	0	0	0	0
6	43.79	14.12	-	0	0	0	0	0	0
7	100	100	100	-	11.52	4.19	0	0	0
8	100	100	100	88.17	-	29.19	0	0	0
9	100	100	100	95.67	70.25	-	0	0	0
10	100	100	100	100	100	100	-	4.25	30.2
11	100	100	100	100	100	100	95.47	-	90.76
12	100	100	100	100	100	100	68.94	8.73	-

En líneas generales, la matriz resultados refleja que los participantes en el experimento diferenciaron correctamente los tres tipos de frenada (conservadora en los test 4, 5 y 6, de emergencia en los test 7, 8 y 9, atropello en los test 10, 11 y 12). Se resalta en la matriz de probabilidades (Tabla 9) dos casos en los que los valores se encuentran cercanos a rechazar la hipótesis nula (hay diferencias significativas):

- En el test 5 (frenada conservadora, actitud intermedia de peatones), se percibió una frenada más agresiva (85.52%) que en el test 6 (frenada conservadora, actitud atrevida de los peatones). Esto puede ser debido a que, al retrasar el momento de cruce la actitud media de los peatones respecto a la atrevida, se observa el coche más cerca cuando se pasa frente a él, pudiendo esto aumentar la sensación de agresividad.
- El mismo argumento es aplicable al otro caso (puntuación más alta en el test 8 (peatones actitud media, frenada de emergencia) respecto al test 7 (peatones actitud conservadora, frenada de emergencia)). La actitud conservadora retrasa el momento de

cruce y, por tanto, el vehículo se encuentra más cerca cuando el sujeto se encuentra frente a él.

Además, destacan otras dos situaciones en las que se encuentran diferencias significativas:

- A pesar de ser el mismo perfil de frenada, se ha percibido más agresiva en el test 9 (peatones con actitud atrevida) que en el test 7 (peatones con actitud conservadora). En principio, se relaciona con el mismo argumento mencionado en los dos casos cercanos a mostrar diferencias significativas.
- Lo mismo sucede con el perfil de frenada de atropello. En el test 11 (actitud intermedia de los peatones) se ha percibido una frenada más agresiva que en el test 10 (actitud conservadora de los peatones).

4.2.3. Pregunta 3. ¿El resto de los peatones influyeron en tu decisión a la hora de cruzar?

Recordando que puntuaciones significativamente mayores (1 en la matriz resultado) implicarían situaciones de mayor influencia de los peatones, estos son los resultados:

Tabla 10. Matriz resultado del test Wilcoxon. Pregunta 3.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	-	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	-	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	-	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	-	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	-	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	-	0	0
11	1	1	0	0	0	0	0	-	0
12	1	1	0	0	0	0	0	0	-

Tabla 11. Probabilidades (en porcentaje) de que una mayor puntuación en el test fila sea significativa. Pregunta 3.

Test	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	83.6	0	5.72	1.06	1.04	10.5	4.13	5.03
5	5.98	-	0	0.3	0	0	0.64	0.1	0.2
6	98.95	99.98	-	76.99	67.08	62.4	89.71	81.73	82.48
7	94.1	99.69	22.54	-	34.62	32.28	67.9	53.18	56.00
8	98.9	99.99	32.35	64.8	-	45.28	80.02	62.74	75.23
9	98.9	99.99	37.00	67.15	54.1	-	78.21	61.86	78.85
10	89.2	99.33	10.00	31.51	19.54	21.32	-	33.21	48.1
11	95.72	99.9	17.86	46.18	36.67	37.54	66.2	-	62.47
12	94.8	99.78	17.12	43.37	24.27	20.7	57.28	36.93	-

Destaca que las situaciones en las que menos se ha percibido la influencia de los peatones, con notable diferencia, son los test 4 y 5 (frenada conservadora y actitudes conservadoras de los peatones). Esto podría deberse a que, ante una situación tan clara de cruce, es incoherente la actitud de los peatones y el sujeto posee confianza suficiente para tomar la decisión tan solo fijándose en el vehículo.

También es considerable, a pesar de que no superen el valor establecido para rechazar la hipótesis nula (90%), que la actitud atrevida de los peatones en el caso de frenada conservadora (test 6) ha sido percibida más influyente que cualquiera de las actitudes en los casos de atropello (con probabilidades 89.71%, 81.73% y 82.48%). Esto concuerda con lo que se esperaba, ya que cuando la actitud del coche es más agresiva se tiende a prestar más atención a su decisión de frenado, olvidando al resto de peatones.

En el *Anexo 6. Secuencia de fotogramas de una acción de cruce.*) se muestra una situación en la que se produce un atropello debido a la influencia del resto de peatones, que acelera la decisión de cruce sin considerar la velocidad a la que llega el vehículo.

4.2.4. Pregunta 4. ¿Qué peatones influyeron más en tu decisión?

En esta pregunta se ofrecen tres opciones de respuesta:

- Influencia mayor de los peatones que parten de tu misma acera.
- Influencia mayor de los peatones que parten de la acera de enfrente.
- Influencia por igual de ambos grupos.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultados cuestión 4.

ID_Participante	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
0	NT	B	B	B	B	B	NT	IF	IF
1	IF	IF	NT	IF	NT	B	NT	B	NT
3	B	B	NT	NT	NT	NT	NT	B	B
4	B	B	B	B	B	B	B	NT	NT
5	NT	B	NT	NT	NT	B	NT	NT	NT
6	B	B	B	B	NT	IF	B	B	NT
7	B	B	NT	NT	B	B	NT	NT	B
8	B	B	B	B	NT	B	NT	NT	B
9	B	IF	IF	B	NT	NT	NT	NT	IF
10	B	B	NT	NT	NT	IF	NT	NT	NT
11	B	B	NT	B	B	B	B	B	B
12	NT	B	NT	B	NT	B	B	B	B
13	IF	IF	NT	B	B	NT	B	NT	NT
14	B	B	NT	B	NT	B	NT	NT	B
15	NT	B	B	B	NT	NT	B	NT	B
16	B	B	NT	B	NT	B	B	B	NT
17	B	B	IF	B	B	NT	B	B	B
18	B	NT	NT	B	NT	NT	NT	NT	NT
19	B	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
20	NT	NT	B	NT	NT	NT	B	NT	NT
21	NT	NT	B	NT	NT	NT	NT	B	B
22	B	B	NT	B	NT	NT	B	NT	NT
23	B	B	B	B	B	B	NT	B	NT
24	B	B	B	NT	B	NT	NT	B	B
25	B	B	NT	B	B	IF	IF	B	NT
26	B	B	B	NT	NT	B	NT	NT	NT
27	NT	B	B	NT	NT	IF	NT	NT	NT
28	B	NT	NT	NT	NT	B	B	B	B
29	B	B	NT	IF	NT	B	B	IF	NT
Total, NT	7	5	16	11	20	11	16	15	16
Total, IF	2	3	2	2	0	3	1	1	2
Total, B	20	21	11	16	9	15	12	13	11
Mayoritario*	B	B	NT	B	NT	B	NT	NT	NT

*Se omiten los test 0,1,2 y 3, en los que al no haber otros peatones no se formulaba esta cuestión.

De los que se puede concluir que la mayor influencia se produce por parte de los peatones que parten de la misma acera. El mayor volumen de esta respuesta se encuentra en el test 8, donde los participantes aportaron comentarios sobre su elección como *“Aceleraron mi decisión”* o *“Me aportaron confianza confirmando mi decisión cruzando junto a mí”*. Hay que destacar que ha sido la opción más elegida en las tres variantes de frenada tardía, lo que puede indicar que en situaciones menos claras o de mayor riesgo, la influencia de los peatones que cruzan a tu lado es mayor.

Tras esta, la siguiente respuesta más popular fue que la influencia por parte de los peatones de ambas aceras fue similar. Cabe destacar que los casos en los que los participantes no percibían influencia de grupo escogían esta opción, ya que no se fijaron en ningún peatón a la hora de cruzar. Prioritariamente se seleccionó esta respuesta en las situaciones con una frenada muy conservadora, donde los participantes comentaban: *“Al ser una situación clara, la influencia es menor, ya que estoy seguro de mi decisión”* o *“Quizá me generaron un poco de duda al ver*

ambos grupos (a su lado y en frente) parados cuando yo consideraba que tenía tiempo para cruzar”.

Por último, una mayor influencia por parte de los peatones que partían de la acera de en frente se dio en el menor de los casos. En todos ellos, los participantes comunicaron que aceleraron su decisión ya que mientras observaban la llegada del coche, estos ya entraban en su ángulo de visión, lo que les incitaba a cruzar.

4.2.5. Pregunta 5. ¿Cuánta actividad mental y perceptiva se requirió?

Para finalizar cada batería de preguntas, se proponía esta pregunta en la que se deseaba conocer cuánto de compleja percibió la tarea el participante, cuya respuesta debía darse en una escala de 1 a 20, donde 1 sería una actividad muy sencilla, con baja actividad mental y 20 una situación de máxima complejidad.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13. Resultados cuestión 5.

ID Participante	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
0	6	6	5	8	3	3	2	5	6	6	5	12
1	6	7	11	10	11	10	9	12	11	13	14	12
3	5	6	3	12	12	12	13	10	12	13	15	15
4	1	5	5	6	7	6	6	8	10	10	13	11
5	12	14	15	16	15	17	16	16	18	17	18	18
6	1	1	4	4	3	4	6	7	7	8	10	9
7	5	3	1	5	4	6	2	4	7	3	6	3
8	12	14	12	15	17	8	13	14	15	15	8	16
9	1	13	10	10	10	14	10	12	13	12	14	14
10	6	3	1	8	8	8	5	7	8	10	10	12
11	5	3	5	2	3	3	2	2	2	3	4	4
12	13	15	10	17	12	10	12	15	16	15	15	15
13	5	13	17	5	7	8	15	12	10	12	8	6
14	2	14	2	2	3	5	10	16	16	5	13	13
15	5	18	1	10	1	1	1	6	10	10	15	10
16	1	1	1	3	1	1	2	3	1	3	3	3
17	2	3	5	2	3	3	10	5	10	5	7	10
18	1	2	5	1	3	1	10	8	8	5	15	12
19	10	10	16	10	10	8	10	10	12	12	15	12
20	2	10	15	10	7	5	12	12	12	10	16	16
21	3	3	3	4	6	3	6	10	6	5	12	12
22	1	1	1	17	2	4	2	3	19	19	20	19
23	1	1	10	1	4	1	4	5	7	10	15	18
24	1	2	2	1	2	3	5	8	5	1	3	5
25	1	1	15	1	1	10	10	5	12	5	5	15
26	4	14	7	6	8	3	5	15	8	4	15	10
27	5	13	19	7	3	6	10	6	8	13	16	16

28	4	5	13	6	6	5	6	7	7	11	8	9
29	5	8	10	1	5	4	5	6	6	5	10	10
Media del test	4.27	7.07	7.53	6.9	6.1	5.93	7.55	8.59	9.72	8.97	11.31	11.62

De estos se puede extraer que, como podía ser predecible, las situaciones en las que el coche realiza una frenada más tardía o se aproxima al paso de cebra a mayor velocidad, exigen una mayor actividad mental a la hora de tomar la decisión de cruzar. No se observan relaciones directas entre la actitud del resto de peatones y la complejidad de la situación, pero si se refleja que en las escenas en las que los peatones tienen una actitud muy atrevida y el coche se aproxima de forma agresiva (test 9 y test 12), aumenta la puntuación. Esto podría ser debido a la confusión que produce en el sujeto la postura del resto de peatones ante una situación que él no percibe segura.

4.3. Escala de presencia en el mundo virtual

Al finalizar la prueba completa, se sometía a cada participante a una serie de preguntas que nos ayudasen a identificar el nivel de inmersión que habían experimentado en el mundo virtual (*Anexo 3. Escala de presencia en el mundo virtual.*). Estas cuestiones se presentaban como “Hasta qué punto sentiste que...” y la respuesta se debía aportar en una escala de 1 a 5, donde 1 sería “nada” y 5 “muchísimo”.

Tabla 14. Escala de presencia propia y del vehículo.

Hasta qué punto sentiste que...	Resultado	Hasta qué punto sentiste que...	Resultado
Podías mover las manos del avatar.	3,93	El vehículo estaba presente.	4,63
El desplazamiento del avatar era tu propio desplazamiento.	4,73	La dinámica del vehículo y su movimiento eran naturales.	4,20
El cuerpo del avatar era tu propio cuerpo.	3,73	El sonido del vehículo te ayudaba a localizarlo.	4,03
Si algo le pasaba al avatar, te estaba pasando a ti.	3,43	El vehículo era consciente de tu presencia.	2,77
El avatar eras tú.	3,97	El vehículo era real.	3,30

Tabla 15. Escala de presencia de otros peatones y el entorno.

Hasta qué punto sentiste que...	Resultado	Hasta qué punto sentiste que...	Resultado
Te movías realmente por un paso de peatones.	4,57	Había otros peatones presentes.	4,40
Las señales de tráfico y los semáforos eran reales.	3,87	Los movimientos de los peatones (gestos, forma de andar...) eran naturales.	3,57
Podías alcanzar a ver todo lo que había a tu alrededor.	4,73	El comportamiento de los peatones era realista.	3,17
Los edificios y la iluminación parecían del mundo real.	4,30	Los otros peatones eran conscientes de tu presencia.	2,47
Podías extender la mano y tocar los objetos en el entorno urbano.	3,03	Los otros peatones eran reales.	3,03

En líneas generales las puntuaciones obtenidas apoyan la posibilidad de trasladar los resultados recogidos en realidad virtual al mundo real, ya que son más próximos a la máxima calificación que a la mínima.

Enfocándonos en las más bajas, en cuanto a la escala de presencia propia, algunos participantes trasladaron a los responsables que una calificación menor en el apartado “Si algo le pasaba al avatar te estaba pasando a ti” se debía a que en determinadas escenas habían chocado visualmente con otros peatones y sin embargo no lo habían sentido físicamente, además de situaciones en las que se había producido atropello del vehículo y habían podido continuar con la acción de cruce. Con esto último también se relaciona la menor puntuación en la percepción de que el vehículo era consciente de tu presencia. Que el peatón actuase en función del comportamiento del coche y no viceversa es algo que se buscaba en este proyecto, luego es asumible la baja calificación de este apartado.

En cuanto a la presencia del resto de peatones, algunos participantes fueron conscientes de que el resto de los peatones no adaptaba su trayectoria a la del participante, ya que cuando este se desviaba e invadía el espacio del resto de avatares, estos no buscaban evitar la colisión. De ahí una menor puntuación en el apartado “Los peatones eran conscientes de tu presencia”.

Finalmente, una gran parte de los participantes comentó que su baja nota en el apartado “Podías extender la mano y tocar los objetos en el entorno urbano” se debía a que en el espacio en que se

habían movido en el mundo virtual no alcanzaban a tocar ningún objeto o no habían tratado de hacerlo.

Además, en este cuestionario también se permitía dejar algún comentario libre en el que se indicase algún punto a mejorar o algo que les hubiese llamado especialmente la atención. A continuación, se muestran algunas respuestas obtenidas:

“Destaco el realismo del mundo virtual. Me he sentido bastante cómoda en el mismo”

“Hubiese reducido el tiempo desde que suena el pitido hasta que el coche llega. Algo de ‘lag’ ante movimientos rápidos”

“El movimiento de los peatones era bastante natural. El mundo virtual estaba muy bien hecho”

“Los sensores de movimiento han favorecido a que mi movimiento sea más rígido de lo habitual”

“Los peatones de mi acera han influido mucho en mi decisión de cruzar o no, incluso acelerándome cuando no lo consideraba realmente seguro. El coche en alguna escena ha obviado la existencia de los peatones”

“Mayor influencia del vehículo que de los peatones”

“La simulación es tan realista hasta el punto de que no te cuadran algunos detalles como las diferentes tonalidades de la vegetación. He percibido que los peatones no cruzan en condiciones seguras. No entiendo que en el atropello no reaccionen el resto de los peatones y acudan a socorrer”

“El realismo del resto de los peatones. He percibido que en alguna escena incluso hacían el gesto de esquivarme. El entorno en general (coche, entorno, luces, sombras...) te hacían ponerte realmente en situación”

“Quizá doce cruces son muchos, pero bastante inmersivo y realista”

“Muy interesante la forma de analizar la influencia del contexto en el momento de cruzar la calle. Por mejorar, el escenario del atropello”

Finalmente, cabe destacar que a pesar de que un gran número de participantes no había utilizado previamente gafas de realidad virtual, aseguraron sentirse bastante cómodos durante la experiencia.

5. Conclusiones y líneas futuras

Para concluir, de este estudio se puede confirmar que existe influencia grupal a la hora de realizar el cruce de una vía, tanto en perfiles de frenada conservadores, como de emergencia o atropello.

Las preguntas que se han realizado a lo largo del proyecto han apoyado los resultados empíricos obtenidos, demostrando que los sujetos podían diferenciar la seguridad de las situaciones y los perfiles de frenada. Algo más difícil de apreciar, a nivel general, ha sido la influencia del resto de peatones en los participantes, quedando algo sorprendidos al comunicarles los resultados.

Además, las escalas de presencia han permitido asegurar que la experiencia en el mundo virtual ha sido satisfactoria, pudiendo identificar también posibles mejoras que permitan aumentar la inmersión y, por tanto, consolidar el traslado de conclusiones al mundo real.

Algunas de estas mejoras serían: actuadores corporales que permitan al sujeto percibir los golpes recibidos y tocar objetos, un menor volumen de las gafas de realidad virtual que aumente la comodidad, y la posibilidad de interactuar con el resto de los peatones por medio de inteligencia artificial.

Además, este proyecto ha sufrido un desarrollo continuo con el trascurso de los participantes que podrán aplicarse a estudios posteriores relacionados con el vehículo autónomo, aumentando su dinamismo y permitiendo el aumento en cuanto a volumen de participantes y amplitud de casos de estudio, recogiendo así un mayor número de datos y, en consecuencia, conclusiones con una mayor base.

Por tanto, en este TFG se han desarrollado las tres etapas por las que transcurre un experimento: el diseño, la ejecución, con las modificaciones pertinentes a lo largo de este para extraer resultados de forma satisfactoria y optimizada, y, por último, la obtención de conclusiones, lo que a nivel de experiencia personal convierte este trabajo en un aporte muy valioso.

Como trabajo futuro, hay que destacar el análisis de los datos obtenidos por los sensores virtuales del vehículo autónomo mediante técnicas de Machine Learning.

Bibliografía

- [1] D. Fernández-Llorca y E. Gómez, «Trustworthy Artificial Intelligence Requirements in the Autonomous Driving Domain», *Computer*, vol. 56, n.º 2, pp. 29-39, feb. 2023, doi: 10.1109/MC.2022.3212091.
- [2] «A Novel Approach for Researching Crossing Behavior and Risk Acceptance». <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3004323.3004324> (accedido 23 de junio de 2023).
- [3] S. M. Serrano, R. Izquierdo, I. G. Daza, M. Á. Sotelo, y D. F. Llorca, «Digital twin in virtual reality for human-vehicle interactions in the context of autonomous driving». arXiv, 20 de marzo de 2023. doi: 10.48550/arXiv.2303.11463.
- [4] K. Holländer, P. Wintersberger, y A. Butz, «Overtrust in External Cues of Automated Vehicles: An Experimental Investigation», en *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, en AutomotiveUI '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, sep. 2019, pp. 211-221. doi: 10.1145/3342197.3344528.
- [5] S. Deb, D. W. Carruth, M. Fuad, L. M. Stanley, y D. Frey, «Comparison of Child and Adult Pedestrian Perspectives of External Features on Autonomous Vehicles Using Virtual Reality Experiment», en *Advances in Human Factors of Transportation*, N. Stanton, Ed., en Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 145-156. doi: 10.1007/978-3-030-20503-4_13.
- [6] U. Gruenefeld, S. Weiß, A. Löcken, I. Virgilio, A. L. Kun, y S. Boll, «VRoad: gesture-based interaction between pedestrians and automated vehicles in virtual reality», en *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings*, en AutomotiveUI '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, sep. 2019, pp. 399-404. doi: 10.1145/3349263.3351511.
- [7] S. M. Serrano, D. F. Llorca, I. G. Daza, y M. Á. Sotelo, «Insertion of real agents behaviors in CARLA autonomous driving simulator». arXiv, 28 de septiembre de 2022. doi: 10.48550/arXiv.2206.00337.
- [8] H. W. Andrew, «The safety of older pedestrians at signal-controlled crossings», *Int. J. Aging Hum. Dev.*, n.º 42, pp. 65-79..
- [9] J.C. Russell, D. O. Wilson, y J. F. Jenkins, «Informational properties of jaywalking models as determinants of imitated jaywalking: an extension to model sex race and number», *Sociometry*, vol. 39, pp. 270-273.
- [10] L. I. Dannick, «Influence of an anonymous stranger on a routine decision to act or not to act: an experiment in conformity», *Sociol. Q.*, vol. 14, pp. 127-134.
- [11] J. Dolphin, L. Kennedy, S. O'Donnell, y G. Wilde, «Factors influencing pedestrian violations.» 1970.
- [12] D. Yagil, «Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' self-reported behavior at signal-controlled crossings», 2000.
- [13] «Effects of Pedestrian Behavior, Time Pressure, and Repeated Exposure on Crossing Decisions in Front of Automated Vehicles Equipped with External Communication | Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems». <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3491102.3517571> (accedido 28 de junio de 2023).
- [14] «Unreal Engine», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 13 de abril de 2023. Accedido: 23 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Unreal_Engine&oldid=150518453
- [15] «Tasa de mortalidad por lesiones debidas a accidentes de tráfico por comunidad autónoma, edad, sexo y periodo», *INE*. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=46689> (accedido 27 de junio de 2023).
- [16] «Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 3 de febrero de 2020. Accedido: 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Prueba_de_los_rangos_con_signo_de_Wilcoxon&oldid=123269371

Anexo 1. Cuestiones sobre percepción de la prueba.

ID: _____ Edad: _____ Altura: _____

Talla pie: _____ Sexo: _____

Test / Prueba	0							
¿Cómo de seguro te sentiste a la hora de cruzar? (1 ninguna confianza; 2 muy poca confianza; 3 poca confianza; 4 confianza media; 5 bastante confianza; 6 mucha ; 7 muchísima)								
¿Cómo percibiste la frenada del vehículo? (1 demasiado conservadora; 2 bastante conservadora; 3 algo conservadora; 4 adecuada; 5 algo agresiva; 6 bastante agresiva; 7 demasiado agresiva)								
¿El resto de los peatones influyeron en tu decisión a la hora de cruzar? (1 nada; 2 muy poco; 3 poco; 4 algo; 5 bastante; 6 mucho; 7 muchísimo)								
¿Qué peatones influyeron más en tu decisión a la hora de cruzar? (NT – los de tu acera, IF – los de la acera de enfrente, B – todos indistintamente)								
¿Cuánta actividad mental y perceptiva se requirió? ¿La tarea fue fácil o exigente, simple o compleja? 1 = Muy bajo a 20 = Muy alto								
Número de grabación Xsense								
Frame de cruce								

Anexo 2. Consentimientos.

INFORMACIÓN ESTUDIO INTERACCIÓN PERSONA-VEHÍCULO EN VR

Investigador Responsable: Óscar Méndez Blanco (Email: oscar.mendez@edu.uah.es), estudiante de Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial, realizando un proyecto de investigación para su Trabajo de Fin de Grado, tutelado por Sergio Martín Serrano (Email: sergio.martin@uah.es), FPI, Departamento de Automática, Universidad de Alcalá.

El presente estudio tiene como **objetivo** analizar la **influencia** de otros **peatones** a la hora de **interactuar** con el **vehículo autónomo**, así como el tipo de **frenada** del mismo, a la hora de cruzar una carretera. Se pretende identificar patrones de comportamiento mediante **Realidad Virtual**, que sean trasladables al mundo real, para actuar en consecuencia y aumentar así la confiabilidad en el vehículo autónomo.

Su participación en este estudio consiste en:

- **Responder** unas **preguntas** antes, durante y después de los experimentos.
- **Utilizar** unas **Meta Quest 2** para la vista del mundo virtual y un **set de sensores corporales** durante los experimentos.
- **Interaccionar** como **peatón** con un **vehículo autónomo** en un escenario virtual, tratando de cruzar una carretera.

Durante los experimentos el sujeto se colocará las gafas de Realidad Virtual siguiendo las indicaciones del investigador y contará con plena libertad de movimiento dentro de un área delimitada, controlada y segura.

Los datos provenientes de cámaras y sensores que formarán parte del experimento serán grabados para su posterior análisis dentro de los objetivos del proyecto de investigación. **En ningún caso estos datos serán publicados por ningún medio.**

Los cuestionarios serán completamente anónimos. Cada usuario será otorgado con un identificador anónimo desligado del nombre, apellidos, DNI y número de teléfono. Los datos personales anteriormente mencionados solo serán utilizados en caso de que fuera necesario comunicarse con la persona por cualquier tipo de eventualidad, y serán protegidos según el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), que entró en vigor el 25 de mayo de 2018 que supone la derogación de Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre referidos a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personal.

Antes, durante o después del estudio, usted podrá formular las preguntas que considere necesarias.

Su participación es voluntaria y altruista.

En cualquier momento puede revocar su consentimiento (sin necesidad de explicar el motivo) y solicitar la eliminación de mis datos personales.

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Nombre y apellidos:

DNI: Teléfono de contacto:

DECLARO:

- He leído y entendido la información que se me ha entregado, que he formulado las preguntas que me han surgido, y que con todo he recibido información suficiente.
- Comprendo que mi participación es totalmente voluntaria y que puedo retirarme del estudio cuando quiera sin tener que dar explicaciones.
- He sido informado/a de que mis datos personales serán protegidos según el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), que entró en vigor el 25 de mayo de 2018 que supone la derogación de Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre referidos a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales, así como que tengo derecho de acceso y rectificación a mis datos personales.
- Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO para participar como sujeto en el estudio,

Para dejar constancia de todo ello, firmo a continuación:

Alcalá de Henares, a de de 2022

Firma

Id.:

Anexo 3. Escala de presencia en el mundo virtual.

ID: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Escala de presencia propia en el Mundo Virtual

¿Hasta qué punto sentiste que... (1= nada – 5 = muchísimo)

Podías mover las manos del avatar.	
El desplazamiento del avatar era tu propio desplazamiento.	
El cuerpo del avatar era tu propio cuerpo.	
Si algo le pasaba al avatar, te estaba pasando a ti.	
El avatar eras tú.	

Escala de presencia del vehículo autónomo en el Mundo Virtual.

¿Hasta qué punto sentiste que... (1= nada – 5 = muchísimo)

El vehículo estaba presente.	
La dinámica del vehículo y su movimiento eran naturales.	
El sonido del vehículo te ayudaba a localizarlo.	
El vehículo era consciente de tu presencia.	
El vehículo era real.	

Escala de presencia de otros peatones en el Mundo Virtual.

¿Hasta qué punto sentiste que... (1= nada – 5 = muchísimo)

Había otros peatones presentes.	
Los movimientos de los peatones (gestos, forma de andar...) eran naturales.	
El comportamiento de los peatones era realista.	
Los otros peatones eran conscientes de tu presencia.	
Los otros peatones eran reales.	

Escala de presencia del entorno en el Mundo Virtual

¿Hasta qué punto sentiste que... (1= nada – 5 = muchísimo)

Te movías realmente por un paso de peatones.	
Las señales de tráfico y los semáforos eran reales.	
Podías alcanzar a ver todo lo que había a tu alrededor.	
Los edificios y la iluminación parecían del mundo real.	
Podías extender la mano y tocar los objetos en el entorno urbano.	

Comentarios que quiera añadir sobre la experiencia...

Anexo 4. Código test t-Student.

```
data=readtable('TTEST12X12.xlsx');
data=table2array(data);
% Inicializamos la matriz de comparación de tests a 0
matriz_comparacion = zeros(12, 12);
matriz_p=zeros(12,12);

for i = 1:12
    for j = 1:12
        if i == j
            continue;
            % No realizamos el test si es la misma columna
        end

        [~, p, ~, stats] = ttest2(data(:, i), data(:, j), 'Tail', 'right');
        %Ultimos dos argumentos para comparar fila (puntuación mayor) con columna y
        no viceversa
        matriz_p(i,j)=p*100;

        if p < 0.1 %Confianza del 0.90
            matriz_comparacion(i, j) = 1;
        end
    end
end

% Me devuelve la matriz de comparación y de probabilidades
disp('Matriz de comparación de tests:');
disp(matriz_comparacion);
disp('Matriz de probabilidad de que la diferencia proceda del azar:');
disp(matriz_p);
```

Anexo 5. Código test Wilcoxon.

```
data=readtable('Q1.xlsx');
data=table2array(data);
% Inicializamos la matriz de comparación de tests a 0
matriz_comparacion = zeros(12, 12);
matriz_p=zeros(12,12);

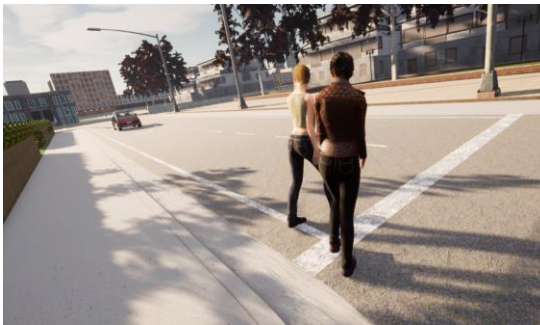
for i = 1:12
    for j = 1:12
        if i == j
            continue;
            % No realizamos el test si es la misma columna
        end

        [ p,h,stats] = ranksum(data(:, i), data(:, j), 'Tail', 'right');
%Ultimos dos argumentos para comparar fila (puntuación mayor) con columna y
no viceversa
        matriz_p(i,j)=p*100;

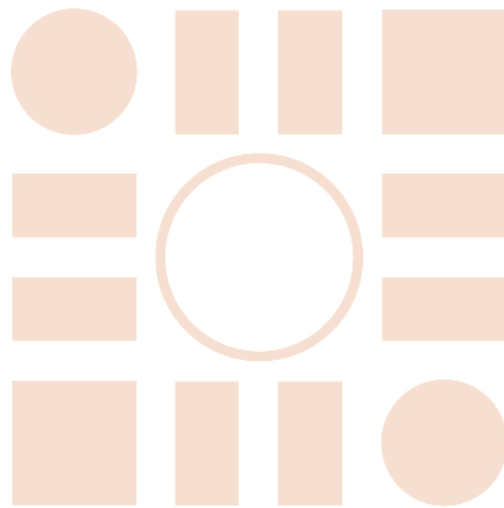
        if p < 0.1 %Confianza del 0.90
            matriz_comparacion(i, j) = 1;
        end
    end
end

% Me devuelve la matriz de comparación y probabilidades
disp('Matriz de comparación de tests:');
disp(matriz_comparacion);
disp('Matriz de probabilidad de que la diferencia proceda del azar:');
disp(matriz_p);
```


Anexo 6. Secuencia de fotogramas de una acción de cruce.



Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá