

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE SOFTWARE

Tema:

DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS SEÑALÉTICAS DE TRÁNSITO EN EL SINDICATO DE CHOFERES DE IZAMBA

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Software

ÁREA: Desarrollo de software

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Software, Tecnologías de la información y Ciencia de datos

AUTOR: Enrique Javier Ortiz Salazar

TUTOR: Ing. Santiago David Jara Moya, MSc.

Ambato - Ecuador

enero – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS SEÑALÉTICAS DE TRÁNSITO EN EL SINDICATO DE CHOFERES DE IZAMBA, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Enrique Javier Ortiz Salazar estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, enero 2026.

Santiago David Jara Moya
Time Stamping Security Data

Ing. Santiago David Jara Moya, MSc.
TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS SEÑALÉTICAS DE TRÁNSITO EN EL SINDICATO DE CHOFERES DE IZAMBA es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, enero 2026.



Enrique Javier Ortiz Salazar

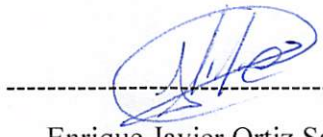
C.C. 1805448725

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, enero 2026.



Enrique Javier Ortiz Salazar

C.C. 1805448725

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Enrique Javier Ortiz Salazar, estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS SEÑALÉTICAS DE TRÁNSITO EN EL SINDICATO DE CHOFERES DE IZAMBA, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, enero 2026.

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
JOSE RUBEN CAIZA CAIZABUANO
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. José Caiza Caizabuano, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
DENNIS VINICIO CHICAIZA CASTILLO
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Dennis Chicaiza Castillo
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo, guiándome y esforzándose para que tenga una vida excelente. Ellos son la razón de dónde estoy actualmente.

A mis hermanos, que me han ayudado y acompañado en todo este proceso y a mi familia, que siempre dispuso de su tiempo para mí.

A mis amigos, quienes fueron un pilar fundamental en este camino. Junto a ellos logré superar las adversidades y alcanzar este importante objetivo en mi formación profesional.

Asimismo, extiendo esta dedicatoria a mis mascotas, aquellas compañeras incondicionales que, con su presencia, alegría y ternura, llenaron de tranquilidad mis días más complicados.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, por cada gesto de apoyo y por acompañarme en cada etapa de este proceso.

A mis amigos, por estar conmigo en los momentos buenos y en los difíciles, brindándome su motivación constante.

Extiendo también mi agradecimiento a mi tutor, por su tiempo, orientación y compromiso, que fueron esenciales para el desarrollo adecuado de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xiv**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xvii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xviii**

ABSTRACT ..... **xix**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 2

1.3 Fundamentación teórica 20

1.3.1 Simuladores virtuales 20

1.3.2 Señalética de tránsito 21

1.3.3 Aprendizaje significativo 22

1.3.4 Educación vial con TIC 23

1.3.5 Evaluación del aprendizaje con simuladores 23

1.3.6 Herramientas y modelos aplicados 24

1.3.7 Lenguaje de programación 25

1.3.8 Entorno virtual 26

1.3.9 Metodología de desarrollo 26

1.4 Objetivos 27

1.4.1 Objetivo general 27

1.4.2 Objetivos específicos 27

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 28

2.1 Materiales 28

2.2 Métodos 28

2.2.1 Modalidad de la investigación 28

2.2.2 Población y muestra 29

2.2.3 Recolección de información 30

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos 46

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 51

3.1 Identificación de requerimientos técnicos 51

3.1.1 Requerimientos del usuario final (equipos cliente) 51

3.1.2 Requerimientos de software del usuario final 53

3.1.3 Requerimientos del servidor de aplicaciones y base de datos 54

3.1.4 Requerimientos de red e infraestructura 54

3.1.5 Relación con la Especificación de Requisitos de Software (ERS) 55

3.2 Investigación de herramientas tecnológicas apropiadas para entornos virtuales . 56

3.2.1 Metodologías de Desarrollo 57

3.2.2 Dispositivos de interacción 61

3.2.3 Motor del desarrollo del mundo virtual 62

3.2.4 Almacenamiento y capa de datos 65

3.2.5 Arquitectura lógica adoptada 65

3.2.6 Metodología de enseñanza 66

3.3 Desarrollo del entorno virtual 68

3.3.1 Fase 1: Concepto 69

3.3.2 Fase 2: Planificación 73

3.3.3 Fase 3: Elaboración 78

3.3.4 Fase 4: Beta 100

3.3.5 Fase 5: Cierre 101

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 110

4.1 Conclusiones 110

4.2 Recomendaciones 111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 114

ANEXOS 117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de artículos científicos 3

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión aplicados 4

Tabla 3. Distribución de artículos científicos final 4

Tabla 4. Escala de valoración Likert para el juicio de expertos 32

Tabla 5. Promedio de los criterios evaluados en el juicio de expertos 32

Tabla 6. Tabla de resultados de la pregunta 1 33

Tabla 7. Tabla de resultados de la pregunta 2 34

Tabla 8. Tabla de resultados de la pregunta 3 35

Tabla 9. Tabla de resultados de la pregunta 4 36

Tabla 10. Tabla de resultados de la pregunta 5 37

Tabla 11. Tabla de resultados de la pregunta 6 38

Tabla 12. Tabla de resultados de la pregunta 7 39

Tabla 13. Tabla de resultados de la pregunta 8 40

Tabla 14. Tabla de resultados de la pregunta 9 41

Tabla 15. Preguntas entrevistas a docentes 43

Tabla 16. Requerimientos mínimos de hardware del usuario final 52

Tabla 17. Requerimientos de software en el equipo del usuario final 53

Tabla 18. Requerimientos del servidor de aplicaciones y base de datos 54

Tabla 19. Requerimientos de red para la operación del simulador 55

Tabla 20. Comparación de metodologías de desarrollo 57

Tabla 21. Matriz de selección de metodología 59

Tabla 22. Comparación de motores 63

Tabla 23. Matriz de selección de motor 64

Tabla 24. Comparación de metodologías de enseñanza 66

Tabla 25. Matriz de selección pedagógica 67

Tabla 26. Planificación de actividades para el desarrollo del entorno virtual de señalética de tránsito 74

Tabla 27. Preguntas para evaluar el mundo virtual 103

Tabla 28. Resultados descriptivos de la encuesta de percepción del entorno virtual (grupo experimental) 104

Tabla 29. Niveles de desempeño de la prueba de conocimientos 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnicas de evaluación del aprendizaje en estudios revisados 18

Figura 2. Ámbitos educativos donde se aplican los entornos virtuales 19

Figura 3. Tipos de investigación utilizados en los estudios analizados 19

Figura 4. Resultados de la pregunta 1 33

Figura 5. Resultados de la pregunta 2 34

Figura 6. Resultados de la pregunta 3 35

Figura 7. Resultados de la pregunta 4 36

Figura 8. Resultados de la pregunta 5 37

Figura 9. Resultados de la pregunta 6 38

Figura 10. Resultados de la pregunta 7 39

Figura 11. Resultados de la pregunta 8 40

Figura 12. Resultados de la pregunta 9 41

Figura 13. Nube de palabras de las entrevistas 50

Figura 14. Fases del proceso SUM 60

Figura 15. Diseño de la pantalla de inicio 71

Figura 16. Diseño de pantalla de aprendizaje 71

Figura 17. Diseño para ver videos de aprendizaje 72

Figura 18. Diseño de pantalla de test 73

Figura 19. Arquitectura del entorno virtual 77

Figura 20. Diagrama del flujo tutorial introductorio 78

Figura 21. Tablas de la base de datos del mundo virtual 79

Figura 22. Servicios API REST 81

Figura 23. Código para conexión con la base de datos 82

Figura 24. Estructura del proyecto como árbol de nodos 84

Figura 25. Diseño estructural del vehículo 85

Figura 26. Diseño de código para el movimiento del carro 86

Figura 27. Configuración del nodo VehicleBody3D 87

Figura 28. Diseño realista del vehículo 87

Figura 29. Diseño de página principal 88

Figura 30. Diseño del código de menú interactivo 89

Figura 31. Diseño de la ciudad para la zona de aprendizaje 90

Figura 32. Marcadores en la zona de aprendizaje 91

Figura 33. Codigo del funcionamiento de marcadores interactivos 91

Figura 34. Mensaje introductorio en la zona de aprendizaje 92

Figura 35. Mensajes informativos en la ciudad zona de aprendizaje 93

Figura 36. Script del mensaje de bienvenida 93

Figura 37. Diseño de las señaléticas de tránsito 94

Figura 38. Diseño de la zona de prueba 95

Figura 39. Mensaje introductorio en la zona de prueba 95

Figura 40. Mensaje para iniciar la prueba 96

Figura 41. Funcionamiento de las zonas de fallo 97

Figura 42. Código sobre el registro de fallas 97

Figura 43. Mensaje cuando culmina la prueba..... 99

Figura 44. Diseño de objetos para el entorno virtual 99

Figura 45. Prueba beta: Zona de aprendizaje 101

Figura 46. Prueba beta: Test de conducción 101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Encuesta a los estudiantes..... 117

Anexo B. Entrevista: Requerimientos y necesidades sobre el aprendizaje de las señaléticas de tránsito..... 121

Anexo C. Especificación de Requisitos de Software..... 123

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, los entornos virtuales de aprendizaje se han consolidado como recursos clave en la educación vial, al permitir que los estudiantes practiquen el reconocimiento e interpretación de la señalética de tránsito en escenarios seguros y controlados. Este trabajo aborda la necesidad de fortalecer el aprendizaje de la normativa y la señalética en los estudiantes del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba, mediante el diseño e implementación de un entorno virtual de simulación.

El entorno fue desarrollado utilizando la metodología SUM, orientada a la creación de experiencias educativas interactivas. A lo largo de sus fases se definieron los requerimientos técnicos, se diseñaron los escenarios y las actividades de aprendizaje, y se construyó un simulador 3D que integra la disposición de señales de tránsito, rutas de circulación y mecánicas de navegación, garantizando coherencia entre los componentes técnicos y pedagógicos.

La validación de la propuesta se realizó mediante un diseño cuasi–experimental con grupo control y grupo experimental, aplicando pruebas de conocimientos tipo pretest–postest y una encuesta de percepción estudiantil. Los resultados mostraron que el 66,7 % de los estudiantes del grupo experimental alcanzó un nivel alto de desempeño en el postest (17–20 puntos), mientras que el grupo control presentó avances más moderados. Asimismo, la encuesta registró altos niveles de satisfacción, con medias superiores a 4,3/5 y un alfa de Cronbach en el rango de muy buena confiabilidad. Estos hallazgos confirman la eficacia del entorno virtual como herramienta de apoyo para el aprendizaje de la señalética de tránsito.

Palabras claves: Entorno virtual de simulación, señalética de tránsito, metodología SUM, diseño cuasi–experimental, educación vial, tecnología educativa.

ABSTRACT

Currently, virtual learning environments have become an important resource in driver education, as they allow students to practice the recognition and interpretation of traffic signs in safe and controlled scenarios. This work addresses the need to strengthen the learning of road sign regulations in students of the Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba through the design and implementation of a virtual simulation environment.

The virtual environment was developed using the SUM methodology, oriented to the creation of interactive and educational experiences, and implemented in a 3D engine that integrates the modelling of urban scenarios, the placement of traffic signs and the configuration of navigation and interaction mechanics. Throughout the phases of SUM, technical requirements were defined, the instructional design was structured and the components of the simulator were progressively integrated and adjusted.

The validation of the proposal was carried out through a quasi–experimental design with control and experimental groups, applying pretest and posttest knowledge tests, as well as a perception survey. The results showed that 66.7% of the students in the experimental group reached a high-performance level in the posttest (17–20 points), while the control group presented more moderate progress. In addition, the survey reported high satisfaction levels, with mean scores above 4.3/5 and a Cronbach's alpha in the range of very good reliability. These findings confirm the effectiveness of the virtual environment as a pedagogical support tool for traffic sign learning.

Keywords: Virtual learning environment, traffic signs, SUM methodology, quasi–experimental design, driver education, educational technology.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

"DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA LA ENSEÑANZA DE LAS SEÑALÉTICAS DE TRÁNSITO EN EL SINDICATO DE CHOFERES DE IZAMBA"

1.1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de entornos virtuales y simuladores aplicados a la educación vial. Estos recursos han demostrado ser efectivos para la mejora del aprendizaje, la retención de normas de tránsito y el desempeño en la conducción [1]. Herramientas como Driving Essentials XE, ampliamente utilizada en Estados Unidos, o aplicaciones de realidad virtual como Learn to Drive VR, han brindado a los usuarios la posibilidad de practicar en escenarios realistas y seguros. Esto ha contribuido a fortalecer su capacidad para reconocer señales, tomar decisiones rápidas y aplicar las normas en contextos dinámicos [2], [3]. Sin embargo, en países de América Latina, su implementación aún es incipiente. La mayoría de los programas de formación de conductores continúan basándose en métodos tradicionales centrados en la memorización y la exposición teórica, lo que limita la experiencia práctica y significativa en el proceso de aprendizaje. [4]

Esta situación también se observó en Ecuador, donde los centros de formación de conductores no integran de forma estandarizada herramientas tecnológicas en sus planes de estudio. A nivel nacional, no se han identificado iniciativas consolidadas que utilicen simuladores o aplicaciones interactivas para entrenar a los futuros conductores en la interpretación de la señalética y la normativa vial dentro de entornos virtuales. Particularmente, en ciudades como Ambato, los cursos para la obtención de licencias de conducir se enfocan principalmente en aspectos teóricos, con escasa vinculación a la práctica real o simulada. Esta brecha entre el conocimiento teórico y su aplicación

práctica evidencia una deficiencia en la preparación integral de los conductores, lo cual genera riesgos potenciales en la vía pública.[5]

Dentro del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba, se observó una limitada incorporación de tecnologías interactivas en el proceso de enseñanza-aprendizaje relacionado con la señalización vial. Se ha destacado las clases tradicionales, las cuales, si bien transmiten los contenidos teóricos, ofrecen escasas oportunidades para que los estudiantes interactúen con contextos de tránsito simulados. Esta situación puede dificultar a que los aspirantes a conductores desarrollen habilidades prácticas antes de enfrentarse a escenarios reales de conducción. [6]

1.2 Antecedentes investigativos

Para la identificación de estudios relevantes, se diseñaron y aplicaron varias cadenas de búsqueda en bases de datos científicas. Estas cadenas se estructuraron con operadores booleanos para combinar conceptos clave relacionados con el uso de simuladores de conducción, la señalización vial y la formación de conductores novatos. El objetivo fue recuperar literatura actualizada y pertinente que aportara evidencia empírica y enfoques tecnológicos aplicables al ámbito educativo vial.

Las búsquedas se realizaron entre los meses de mayo y julio del año 2025, utilizando conexiones en motores académicos como IEEE Xplore, ScienceDirect, Springer, ACM Digital Library. Las tres principales cadenas aplicadas se detallan a continuación:

1. C1: (Virtual simulator" OR "driving simulator") AND ("traffic signs" OR "road signs") AND ("driver education" OR "novice drivers)
2. C2: ("technology in driving education") AND ("traffic signs interpretation") AND ("novice drivers")
3. C3: ("learning simulation") AND ("traffic signals") AND ("instructional technology" OR "learning innovation")

Se realizó una revisión de literatura en bases de datos científicas reconocidas con el fin de identificar antecedentes relevantes para el desarrollo de soluciones educativas basadas en simuladores de conducción y Virtual Reality (VR) aplicadas a la formación

de conductores novatos. La búsqueda se centró en estudios que evaluaran la eficacia de estas tecnologías para mejorar la seguridad vial y el aprendizaje práctico en entornos virtuales controlados.

Se elaboró una matriz de pertinencia basada en la recuperación de artículos científicos provenientes de bases de datos como ScienceDirect, IEEE Xplore, Springer, arXiv, SSRN, ACM Digital Library, entre otras. En total, se identificaron 30 documentos científicos relevantes, cuya distribución por base de datos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de artículos científicos

Base de datos	**Cantidad**
Frontiers	2
Sinteza	1
Saucis	1
ScienceDirect	4
ROSAP	1
Acta Polytechnica CTU Proceedings	1
ACM Digital Library	1
arXiv	2
Springer	4
IEEE Xplore	6
SAGE Journals	2
SSRN	1
AAAI	1
Interactive Learning Environments	1
Journal of Traffic and Transportation Engineering	1
Accident Analysis & Prevention	2
Elsevier	2
TOTAL	**31**

Para asegurar la calidad, relevancia y aplicabilidad de los estudios, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión vistos en la Tabla 2 enfocados en el período 2020-2025, con énfasis en estudios prácticos, empíricos y de acceso completo.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión aplicados

Criterios de inclusión	**Criterios de exclusión**
Publicaciones entre 2020 y 2025	Publicaciones anteriores a 2020
Artículos en inglés o español	Idiomas distintos a inglés o español
Estudios con aplicación práctica validada	Estudios puramente teóricos
Documentos con acceso al texto completo	Solo acceso a resumen o abstract
Evaluaciones de simuladores de conducción o VR aplicada	Estudios ajenos al enfoque educativo o de seguridad vial

Tras aplicar dichos filtros, se obtuvo un total de 24 estudios válidos. A continuación, se presenta la distribución final de los documentos pertinentes en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de artículos científicos final

Base de datos	**Cantidad de estudios pertinentes**
IEEE Xplore	5
ScienceDirect	4
Springer	4
Frontiers	3
Elsevier	2
arXiv	1
SSRN	1
AAAI	1
Journal of Traffic and Transportation Engineering	1
Accident Analysis & Prevention	2
TOTAL	**24**

Los documentos seleccionados fueron evaluados también mediante una matriz de puntuación cuantitativa basada en pertinencia temática, tipo de tecnología utilizada como simuladores o realidad aumentada, validación de resultados, y aplicabilidad educativa. Este análisis permitió identificar los enfoques más utilizados en el entrenamiento de conductores, destacándose el uso de simuladores inmersivos, el entrenamiento basado en escenarios críticos y el empleo de inteligencia artificial para personalizar la retroalimentación al aprendiz.

En [1] se presentó el módulo universitario “Traffic Physics” para formar a futuros docentes en contenidos de seguridad vial mediante un enfoque holístico y de Design Thinking. El curso combina conceptos de física del tráfico (densidad, velocidad, análisis de flujo) con trabajo de campo en escuelas: los estudiantes levantan datos del entorno, mapean zonas peligrosas, entrevistan actores (peatones, ciclistas, conductores) y prototipan soluciones (p. ej., mejoras de señalización o rutas seguras). La evaluación incluyó mediciones antes y después del módulo y una encuesta de aceptación; si bien no se observaron cambios estadísticamente significativos en la conducta vial auto-reportada en el corto plazo, sí hubo alta aceptación del enfoque, mejoras en la percepción de riesgos, reflexión pedagógica y empatía hacia usuarios viales, y se consolidó un marco de criterios para valorar productos y desempeños del módulo. El estudio se desarrolló entre 2022 y 2024, sin grupo control y con muestra pequeña, lo que los autores discuten como limitación; recomiendan ampliar tamaño muestral, estandarizar instrumentos y dar seguimiento longitudinal para captar cambios conductuales sostenibles. En el contexto de seguridad infantil (3,500 muertes diarias a nivel mundial; en Alemania, 25.806 niños involucrados en siniestros y 51 fallecidos en 2022), el artículo subraya la pertinencia de integrar la seguridad vial de forma transversal en el currículo escolar.

En [2] se prototipó un videojuego de Realidad Virtual (RV) para educar a conductores novatos en seguridad vial, con foco universitario y sesiones de entrenamiento estructuradas en pretest–postest. El entorno recrea escenarios urbanos con señalización reglamentaria, tráfico simulado y eventos imprevistos para ejercitar atención selectiva, anticipación de riesgos y toma de decisiones. El estudio reporta mejoras post-intervención en comprensión de normas y en el desempeño ante situaciones críticas, favorecidas por gamificación (puntuación/retos), retroalimentación inmediata y

aprendizaje activo. Aunque el realismo se describe como medio y la muestra es acotada, el prototipo demuestra ser económico y accesible, adecuado para prácticas seguras y repetibles sin riesgo físico. Para robustecer evidencia (pensando en tesis/aplicación institucional), se recomienda ampliar muestra, incorporar grupo control, estandarizar instrumentos (escalas validadas) y realizar seguimiento longitudinal para observar cambios conductuales sostenidos.

En [3] se desarrolló un sistema de educación vial para conductores inexpertos que combina un módulo teórico (cuestionarios sobre tránsito, mecánica básica y primeros auxilios) y un simulador de conducción con volante, pedales, palanca de cambios, asiento y pantalla, operado sobre una plataforma virtual propia. El flujo instruccional exige que cada usuario responda 10 preguntas y obtenga al menos 70 % de aciertos para desbloquear la práctica en el simulador, lo que refuerza la asimilación previa de normas antes del entrenamiento operativo. El artículo justifica la necesidad de esta formación con datos de siniestralidad (Turquía: 1.207.354 accidentes en 2013; OMS: ~1,24 millones de muertes anuales), y plantea el entorno simulado como vía segura, accesible y de bajo costo para adquirir experiencia inicial sin riesgo físico. Aunque el estudio se centra en el diseño del sistema y no reporta un análisis estadístico de resultados de aprendizaje, su estructura teórico–práctica y el umbral de dominio (70 %) constituyen buenas prácticas transferibles a escuelas y sindicatos de conducción.

En [4] se presentó un instructor virtual de conducción orientado a evaluar, en tiempo real, el desempeño de alumnos de manejo con un nivel de precisión comparable al de instructores humanos. El sistema se apoya en una arquitectura multiagente de tipo subsumption y en un grafo de conocimiento que mantiene un entendimiento continuo de la situación vial (señales, prioridades, otros usuarios de la vía y contexto de maniobras). La validación se realizó con estudiantes reales en escenarios de simulador, comparando los juicios del instructor virtual frente a evaluaciones de expertos humanos, con resultados de alta concordancia y capacidad de retroalimentación inmediata sobre errores y buenas prácticas. De manera práctica, los autores destacan que la automatización permite repetir muchas más situaciones críticas por sesión (por ejemplo, practicar rotondas decenas de veces en minutos) y estandarizar criterios para reducir sesgos en la calificación.

En [5] se describe un estudio orientado a las posibilidades de uso y acceso de simuladores de conducción en la formación de futuros conductores, con especial atención a su integración en escuelas de manejo. El artículo parte de la evidencia de mayor siniestralidad en conductores de 18 a 24 años y plantea el simulador como un entorno seguro, reproducible y de bajo costo para practicar maniobras y situaciones críticas bajo cualquier condición climática. Se presenta el objetivo de avanzar desde la simple práctica simulada hacia la evaluación objetiva de la conducción mediante software específico, de modo que la calificación deje de depender únicamente del juicio subjetivo del instructor. El prototipo reportado corresponde a un simulador monoplaza con proyección de 180° usando tres monitores de 32", periféricos comerciales adaptados (conjunto Logitech) y desarrollo en el motor Unity. Sobre esta base se implementa un módulo de evaluación que capta en tiempo real parámetros del entorno y del vehículo, y genera al finalizar un informe en PDF con indicadores objetivos agrupados en cinco áreas: mantenimiento de carril (incluido el indicador AOO, que cuantifica el área fuera de carril por kilómetro), cumplimiento de límites de velocidad, comportamiento respecto del tráfico circundante (distancia temporal de seguridad fijada en 2 s), observancia de normas de tránsito (p. ej., cruces con luz roja, violaciones por señales verticales) y control mecánico seguro del vehículo (uso oportuno de direccionales, cambios, sobre-revoluciones, apagados de motor). Como marco de necesidad, el trabajo cita datos nacionales de la República Checa en 2020: 94 794 accidentes, de los cuales 8 743 fueron causados por conductores de 18 a 24 años (aprox. 9,22 %), con 66 fallecidos, 239 heridos graves y 3 298 heridos leves atribuibles a ese grupo etario; esto sustenta la pertinencia de entrenamientos intensivos y estandarizados en simulador

En [6] se desarrolló y evaluó una propuesta de realidad virtual para fortalecer la teoría de conducción en estudiantes de autoescuela. El trabajo construyó tres escenarios en Unity, integrados con Oculus Quest 2 mediante XR Interaction Toolkit, donde el alumno se desplaza por situaciones urbanas con tráfico, señalización, ciclistas y peatones, y responde preguntas de opción múltiple visibles en el tablero del vehículo. El estudio se aplicó en una autoescuela al noroeste de Copenhague con cinco estudiantes de 16 a 25 años (tres sin experiencia previa en VR) y entrevistas a dos instructores. Tras la experiencia VR se aplicaron dos instrumentos estandarizados: SUS para usabilidad y el Igroup Presence Questionnaire (IPQ) para presencia. Los

resultados reportan un puntaje SUS de 77,5 (usabilidad entre buena y excelente) y niveles de presencia entre aceptable y marginalmente aceptable; los instructores valoraron positivamente la inmersión y que la simulación obligue a realizar movimientos de cabeza para la orientación y verificación de espejos. Como marco del problema, el artículo recuerda que el examen teórico danés incluye 25 escenarios de opción múltiple y permite hasta cinco errores; en promedio, 28,7 % reprueba en el primer intento, lo que motiva explorar VR para incrementar motivación y alineación entre casos teóricos y situaciones reales. En conjunto, el estudio muestra factibilidad técnica y buena aceptación, y recomienda ampliar participantes, realizar seguimientos longitudinales y aumentar el realismo de los escenarios para evaluar mejor el aprendizaje.

En [7] se propone incorporar instrucciones de voz en un esquema de aprendizaje por refuerzo basado en modelo para entrenar autos autónomos dentro del simulador CARLA. El sistema habilito que un "coach" humano emita órdenes y evaluaciones en lenguaje natural durante el entrenamiento, las cuales se transcriben con reconocimiento de voz y se clasifican en una taxonomía de dos niveles: instrucciones de acción (por ejemplo, girar, frenar, seguir recto) y de recompensa/retroalimentación (por ejemplo, bien, mal, accidente), que se usan para modificar tanto la política como la función de recompensa del agente. La implementación se apoya en un flujo de dos etapas (voz a texto y luego clasificación textual) y en un algoritmo Dyna con PPO, mostrando que la guía verbal acelera la convergencia y mejora la eficiencia de muestreo frente a un entrenamiento sin intervención humana. Los autores discuten además limitaciones del entorno (mapas pequeños, señales limitadas a semáforos, "stop" y velocidad) y motivan el enfoque por su afinidad con la enseñanza humana de conducción, donde pocas sesiones con un instructor logran progresos rápidos. En conjunto, el artículo aporta un canal de comunicación natural para el aprendizaje "human-in-the-loop" y evidencia empírica (curvas de aprendizaje) de que las instrucciones de voz ayudan a que el agente alcance políticas útiles en menos episodios.

En [8] se evaluó un programa de educación vial centrado en atención, orientación y percepción de riesgo en niños ciclistas, usando realidad virtual con eye-tracking para medir cambios objetivos después del curso. El estudio replicó en VR el circuito real

del centro de tráfico de Eberg y definió nueve regiones de interés donde expertos esperaban fijaciones visuales “adecuadas” al transitar. Participaron escolares de 10–11 años divididos en dos grupos: pretest con currículo tradicional (n=32) y postest con el nuevo currículo neuroeducativo (n=29). La comparación mostró que, tras el curso, los alumnos del grupo nuevo dirigieron su mirada a más regiones relevantes por ensayo (media 6,83 ROIs) que los del currículo existente (media 4,53 ROIs), con diferencias significativas generales y por regiones específicas ($p<0,001$; diferencias en ROI 4, 6 y 7). Aproximadamente 70 % valoró que la experiencia VR se sentía como “estar en Eberg”, y aunque 10–15 % reportó malestar leve en la primera pasada, todos completaron el protocolo con pausas breves. El trabajo describe además un piloto previo con 5 niños para comprobar fidelidad gráfica, de interacción y el procedimiento de medición. En conjunto, la validación en VR con eye-tracking apoyó que el nuevo enfoque pedagógico ayudó a los alumnos a “poner la atención en el lugar correcto”, indicador proxy de conducción más segura.

En [9] se presentó una plataforma para educación vial y sensibilización sobre movilidad urbana que integra realidad virtual y analítica de datos, desarrollada en alianza entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP). La propuesta, enmarcada en el programa de Movilización Urbana Consciente (MUC-UPS-EMOV), aborda dos frentes: por un lado, la construcción de experiencias inmersivas de tránsito en entornos urbanos locales, y por otro, un componente de recopilación y análisis de datos que permita medir conocimiento, percepciones y patrones de riesgo de los usuarios. El artículo delimita el problema de la educación vial como un reto de cobertura y eficacia especialmente en contextos urbanos y rurales y plantea la plataforma como una vía segura y escalable para difundir normas, practicar decisiones ante señales y semáforos, y generar indicadores para la toma de decisiones institucionales. Aunque el trabajo de conferencia se centra en el diseño y la factibilidad técnica más que en resultados experimentales con muestras amplias, se describe la arquitectura general del sistema y su despliegue local, sentando las bases para evaluaciones posteriores y ampliaciones funcionales.

Este estudio [10] constituye una revisión sistemática de 39 investigaciones empíricas centradas en el uso de la realidad virtual mediante cascos Head Mounted Display

(HMD) para estudiar diferentes aspectos de la seguridad vial. La revisión abarca diversos perfiles de participantes, incluyendo conductores, peatones y ciclistas, así como una variedad de entornos viales simulados. El análisis se enfoca en la capacidad de las simulaciones inmersivas para generar comportamientos auténticos frente a situaciones críticas, como frenadas de emergencia, cambios de carril o cruces peligrosos. Aunque la mayoría de los estudios revisados no incorporan gamificación ni aprendizaje activo explícito, se resalta el valor metodológico de la realidad virtual para obtener datos realistas y observables. No se orienta directamente a la educación formal, pero ofrece evidencia sobre la utilidad de la simulación inmersiva como herramienta investigativa. La revisión concluye que, si bien falta una estandarización en los enfoques metodológicos, la RV se consolida como una estrategia prometedora para el análisis y prevención de accidentes, así como para el diseño de programas de formación en seguridad vial más efectivos y adaptativos.

Este estudio de desarrollo educativo [11] presenta “Woodlands”, un juego serio en realidad virtual orientado a conductores novatos. El objetivo es fomentar el aprendizaje práctico de habilidades de seguridad vial mediante experiencias inmersivas en entornos urbanos simulados. Aunque no se especifica la plataforma empleada, el diseño del juego se caracteriza por su enfoque gamificado y altamente interactivo. La investigación promueve el aprendizaje activo mediante la experimentación segura y el refuerzo de conductas positivas de conducción. No se reporta análisis estadístico formal, lo cual limita la generalización de los resultados. Sin embargo, se destaca la alta inmersión como factor motivacional y pedagógico relevante. En conjunto, el estudio evidencia el potencial de los juegos serios en VR para fortalecer la formación vial desde una perspectiva lúdica y efectiva.

Esta revisión sistemática [12] examina investigaciones que integran simuladores de conducción, inteligencia artificial y realidad virtual en la formación de conductores. El análisis se centra en la capacidad de estas tecnologías para recrear condiciones realistas de tráfico y mejorar la práctica segura en entornos controlados. No se enfoca en resultados cuantitativos ni aplica técnicas estadísticas comparativas. A pesar de no incorporar gamificación ni aprendizaje activo, se resalta la aplicabilidad educativa de los simuladores como herramientas de apoyo formativo. El enfoque integrador permite una visión amplia sobre la evolución tecnológica en la enseñanza de la conducción. La

revisión concluye que estos sistemas representan una alternativa eficaz y adaptable a diversos perfiles de aprendizaje. Así, el estudio posiciona la Virtual Reality (VR) y Artificial Intelligence (AI) como pilares emergentes en la educación vial contemporánea.

Este estudio cualitativo [13] explora cómo los conductores en Estados Unidos adquieren conocimientos sobre los Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). A través de 23 entrevistas y encuestas, se analiza el proceso de aprendizaje en condiciones reales de conducción, el estudio encontró que la práctica por prueba-y-error es el canal predominante de aprendizaje. La investigación no utiliza realidad virtual ni simuladores, enfocándose en experiencias concretas y cotidianas. No incorpora gamificación ni aprendizaje activo formal, y su aplicabilidad educativa es indirecta. Sin embargo, revela patrones de aprendizaje vinculados al nivel de familiaridad tecnológica de los usuarios. Esta información resulta esencial para diseñar estrategias formativas más inclusivas y personalizadas. El estudio contribuye a la comprensión de la alfabetización tecnológica vial en el contexto de la movilidad inteligente.

En [14] se evaluó cómo influye la capacitación en el desempeño de conductores al interactuar con funciones de asistencia avanzada y conducción autónoma en un entorno simulado. El estudio comparó conductores novatos y experimentados a lo largo de varias sesiones separadas por distintos intervalos de tiempo, activando y desactivando funciones ADAS durante la conducción. Se registraron insumos de volante, aceleración y frenado, tiempos de disparo de eventos, tiempos de reacción y posición lateral del vehículo para analizar precisión, velocidad de respuesta y control del vehículo antes y después del entrenamiento. Los resultados mostraron mejoras significativas en la precisión de las acciones, en los tiempos de reacción y en la estabilidad de control para ambos grupos tras la capacitación, lo que respalda la necesidad de entrenamientos específicos para el uso seguro de ADAS y funciones de autonomía. El artículo sugiere profundizar en modalidades de entrenamiento y explorar retroalimentación en tiempo real o tutoría asistida por inteligencia artificial como vías para potenciar aún más el aprendizaje y la transferencia a la práctica.

Esta investigación cualitativa [15], realizada en Noruega, examina cómo los instructores de conducción abordan la enseñanza de tecnologías como los sistemas ADAS y las pantallas táctiles. Mediante una encuesta enviada a 1.058 autoescuelas, se obtuvieron 333 respuestas y se analizó el énfasis pedagógico que los instructores dan a distintos sistemas: ABS y ESP (integrados y siempre activos) frente a LKA y ACC (opcionales y de mayor demanda cognitiva), además del uso seguro de pantallas táctiles. Los resultados muestran que la enseñanza se concentra en sistemas in-build: fuera del vehículo, 40,8 % de instructores reportó enseñar ABS "en alto grado" (y 41,1 % "en cierta medida"), 36,3 % para ESP; en cambio, solo 11,1 % para LKA, 16,8 % para ACC y 15 % para pantallas táctiles. Más aún, las tecnologías no cubiertas "antes de conducir" superan el 40 % para ACC, LKA y pantallas táctiles, patrón que se repite al enseñar dentro del vehículo y durante la conducción. El estudio interpreta esto como una brecha de seguridad: se privilegia lo que exige poca intervención del conductor (ABS/ESP) en lugar de entrenar tecnologías que, mal comprendidas, pueden incrementar el riesgo (LKA, ACC, pantallas). El estudio no emplea simuladores, realidad virtual ni plataformas interactivas, y carece de componentes de gamificación o aprendizaje activo. No obstante, aporta una comprensión profunda de las carencias metodológicas en la alfabetización digital aplicada a la conducción. Su valor reside en evidenciar la desconexión entre los avances tecnológicos vehiculares y las estrategias de formación. Se subraya la urgencia de actualizar los programas educativos para incorporar competencias tecnológicas relevantes. En este sentido, el estudio tiene alta pertinencia formativa para contextos donde la modernización del currículo es prioritaria.

En [16] se presenta un modelo de formación para futuros docentes centrado en "física del tráfico", cuyo propósito es prepararlos para enseñar contenidos de seguridad vial desde un enfoque holístico y contextualizado. El curso integra conceptos de física (densidad de tráfico, velocidad, distancias de frenado) con trabajo de campo en escuelas, donde los estudiantes levantan datos del entorno, identifican zonas de riesgo y entrevistan a usuarios de la vía; además, emplea design thinking para empatizar con los actores, definir problemas y prototipar soluciones como mejoras de señalización o apoyos tecnológicos. La evaluación del módulo combina una herramienta de calificación con criterios pedagógicos y disciplinares y recoge evidencias cualitativas

de comprensión, percepción de riesgo y capacidad para proponer medidas de seguridad; no obstante, el análisis indica que, en el corto plazo, la participación en el módulo no se tradujo en cambios significativos de conducta o actitudes auto-reportadas, en línea con literatura previa que distingue aumento de conocimiento de modificación conductual sostenida. Como marco del problema, el artículo recuerda la campaña #3500LIVES y datos recientes en Alemania: 25.806 niños involucrados en siniestros viales en 2022, con 51 fallecidos, lo que subraya la pertinencia de integrar la seguridad vial en el currículo escolar. En conjunto, el trabajo aporta una estructura replicable de cinco fases basada en design thinking, un repertorio de tareas auténticas y una herramienta de evaluación para objetivar resultados formativos.

En [17] se realizó una revisión sistemática sobre la educación de conductores novatos que abarca el periodo 2000–2024 y sintetiza 29 estudios revisados por pares para identificar qué métodos de formación muestran mejores resultados y cuáles son sus limitaciones. El trabajo destaca que las intervenciones basadas en tecnología en particular RAPT y su versión virtual V-RAPT, así como entrenamientos con simuladores mejoran habilidades críticas como anticipación de riesgos y gestión de la atención; también subraya el aporte de programas con participación de padres o tutores para reforzar el cumplimiento de restricciones del licenciamiento graduado. Entre los retos, los autores señalan la variabilidad de diseños y medidas de resultado, la escasez de seguimientos a largo plazo y barreras de acceso asociadas a brechas socioeconómicas; además, al centrarse mayormente en evidencia de Estados Unidos, la generalización a otros contextos requiere cautela. La recomendación principal es combinar educación tradicional con herramientas tecnológicas y componentes familiares, usar métricas comparables (p. ej., aciertos por tipo de peligro, tiempos de reacción, tasas de infracción simulada) y evaluar la retención en el tiempo para estimar efectos sostenidos.

En [18] se presentó un instructor virtual de conducción concebido como un sistema multiagente que colabora mediante un grafo de conocimiento para escalar la educación de conductores. El artículo describe el diseño y el despliegue del VDI: agentes especializados perciben y evalúan distintos aspectos de la conducción, mientras el grafo de conocimiento mantiene contexto de la escena vial y reglas, permitiendo emitir juicios y retroalimentación en tiempo real durante escenarios de simulador. La

validación compara sus evaluaciones con las de instructores humanos y reporta concordancia elevada, lo que respalda su uso como evaluador objetivo y repetible. Además, el ecosistema se amplía con un generador de lecciones personalizadas que adapta prácticas y escenarios al nivel del estudiante, potenciando la progresión por competencias. En conjunto, la propuesta apunta a estandarizar criterios, reducir sesgos, aumentar la frecuencia de práctica de maniobras críticas y abaratar la formación cuando se integra en laboratorios o escuelas de conducción.

En [19] se presentó una plataforma abierta de co-simulación para educación e investigación en seguridad vial que integra Simulation of Urban MObility (SUMO) con Unity y realidad virtual, de modo que un usuario en VR interactúa con un flujo vehicular generado por SUMO en tiempo real. El artículo explica el proceso completo: creación/importación de la red vial, enlace programático entre ambos entornos y validación del desempeño del sistema. La evaluación se centra en dos indicadores operativos: el real-time factor (RTF), que compara el tiempo de simulación en SUMO frente a Unity cada segundo, y los cuadros por segundo (FPS) en Unity, probando distintos niveles de densidad de tráfico (correspondientes a niveles de servicio A–F) y longitudes de paso de simulación. Los resultados muestran RTF≈1,00 en la mayoría de combinaciones y FPS altos incluso con tráfico denso: por ejemplo, a densidades cercanas a 9–13 veh/milla/carril (LOS A–B) se registraron 150–206 FPS; en condiciones más exigentes, como LOS F con 77–84 veh/milla/carril, el sistema mantuvo RTF entre 0,96–1,00 y 139–141 FPS con paso de 0,20–0,30 s, lo que acredita viabilidad para entrenamiento inmersivo y estudios de comportamiento. La contribución principal es poner a disposición una infraestructura reproducible para ensayar escenarios de seguridad vial y aplicaciones tipo gemelo digital sin requerir plataformas propietarias costosas. Como línea de mejora para uso educativo y tesis, los autores sugieren extender la plataforma con métricas de desempeño del aprendiz, conectores a bases de datos y módulos de análisis que permitan medir errores por tipo de señal, tiempos de reacción y eventos de casi-incidente, además de adaptar reglas de prioridad y señalética al contexto local.

En [20] se evaluó, en un simulador de conducción, la eficacia de un sistema de advertencia auditiva contra choques por cruce en rojo basado en un sensor de Tiempo-hasta-colisión (TTC). Participaron 50 conductores que enfrentaron intersecciones con

vehículos que se pasaban la luz roja; el sistema emitía advertencias de voz con dos anticipaciones posibles (5 s “temprana” y 3 s “tardía”) y con dos contenidos (con dirección del peligro o sin dirección). Se midieron tiempo de reacción al frenado, desaceleración máxima y desviación lateral, y se analizó con ANOVA y un modelo de ecuaciones estructurales. Los resultados mostraron reducciones marcadas de choques cuando hubo advertencia: la tasa de colisiones bajó de 66 % sin advertencia a 16,5 % con advertencia, aproximadamente una reducción del 75 %. Además, con advertencia los conductores reaccionaron antes, aplicaron mayor desaceleración y se desviaron menos de su carril. El modelo causal indicó que la advertencia influye tanto directa como indirectamente en la ocurrencia de choques, siendo más importante el efecto indirecto a través de acortar el tiempo de reacción y mejorar la maniobra; el modelo explicó el 77 % de la varianza de resultados. Un hallazgo práctico fue que, con aviso temprano (5 s), incluir la dirección del peligro ayudó a localizar rápido la amenaza, pero con aviso tardío (3 s) un mensaje más simple, sin dirección, funcionó mejor al reducir la carga mental. El protocolo usó un TTC que disparaba al vehículo infractor cuando el conductor se hallaba a 7 s del punto de conflicto y el infractor cruzaba a 60 km/h.

En [21] se describe un simulador de conducción en realidad virtual pensado para realizar estudios con usuarios sobre conducción automatizada y prototipar rápidamente interfaces (por ejemplo, información en el parabrisas o HUD). La propuesta, denominada AutoWSD, combina un casco de VR con una cabina económica y un software desarrollado en Unity, lo que permite crear y modificar escenarios de investigación con poco esfuerzo. El trabajo, presentado en los Adjunct Proceedings de AutomotiveUI 2019, explica el objetivo de cerrar la brecha entre montajes 2D de baja fidelidad y simuladores de alto costo, y detalla cómo el sistema facilita estudiar temas como confianza, aceptación, experiencia de usuario y ciber-mareo en contextos de automatización parcial. Se muestra el flujo para construir escenarios y prototipos funcionales, con el énfasis en que sean reproducibles y accesibles para laboratorios con presupuesto limitado. Si bien el artículo es principalmente de diseño/implementación y no reporta ensayos a gran escala con métricas educativas, aporta una guía clara para montar estudios controlados y extender el sistema con nuevas funciones y casos de uso.

En [22] se describe un simulador de conducción en realidad virtual diseñado para medir comportamiento y características de conductores en un entorno seguro y repetible. El sistema se construyó en Unity3D (versión 5.4) con programación en C#, ejecutado con casco HTC Vive y periférico de conducción (volante Thrustmaster T150); se registraron de forma continua variables como movimientos de cabeza, ángulo de volante, posición y orientación del vehículo, velocidad, aceleración y eventos de disparo, almacenadas en CSV para análisis posterior en Matlab/Excel. Participaron 10 conductores de 19 a 37 años (4 japoneses y 6 no japoneses; 9 hombres y 1 mujer), con experiencias de licencia heterogéneas. El protocolo consistió en practicar y luego conducir vueltas de ~1,5 minutos en un mismo circuito durante unos 15 minutos, mientras un evaluador asistía al participante. Además de tiempos por vuelta y control de carril, se observaron tendencias de fatiga y exploración del límite del vehículo tras varias vueltas; algunos participantes novatos en VR reportaron mareo y no completaron todas las tareas. El estudio ilustra la factibilidad de usar VR para detectar patrones como exceso de velocidad, frenadas fuertes/suaves y salidas de vía, y propone ampliar escenarios y medidas en trabajos futuros.

En [23] se investigó un simulador de conducción en realidad virtual diseñado para formar conductores novatos incorporando un tipo de ayuda cognitiva denominado image–arrow aids. El objetivo fue comparar la efectividad de estas ayudas, que combinan imágenes contextuales del entorno con flechas direccionales y breves indicaciones en pantalla, frente a dos alternativas habituales: audio con texto, y flechas con texto. El prototipo se desarrolló en Unity y se aplicó en laboratorio con usuarios novatos, guiándolos por rutas predeterminadas que exigían obedecer reglas y señales de tránsito. El procedimiento incluyó una inducción al equipo de VR, la ejecución de escenarios con las tres modalidades de ayuda y cuestionarios tipo Likert sobre carga mental, complejidad percibida y experiencia general, además del registro de desempeño para analizar la utilidad pedagógica de cada modalidad. Los autores motivan el uso de image–arrow aids porque descomponen la tarea de navegación en pasos visuales comprensibles y buscan reducir el procesamiento cognitivo innecesario, promoviendo mejor conciencia situacional y toma de decisiones durante el entrenamiento. El trabajo concluye que el enfoque es factible y aporta una vía práctica

para estandarizar indicaciones dentro del simulador, y propone continuar con comparaciones sistemáticas y métricas objetivas de rendimiento en futuros estudios.

En [24] se describe el diseño, desarrollo, calibración inicial y validación de dos simuladores para micromovilidad eléctrica: uno de e-scooter y otro de e-bicycle. Ambos fueron construidos en el laboratorio TAMS de la Universidad de Patras para investigar comportamiento de conducción, seguridad y desempeño energético en entornos controlados. El artículo detalla la plataforma VR y la instrumentación: medición de ángulo de dirección con encoder (sensibilidad ≈0,45° en e-scooter) o potenciómetro de alta precisión en e-bike, control de resistencia de manillar mediante resortes, y, en el caso de la bicicleta, estructura reforzada con dos actuadores lineales para simular inclinación y pendiente. Se definió un banco de calibración con variables como campo de visión (FoV 80–140°, óptimos reportados en 95° y 125°), torque de rueda, efecto de frenado y resistencia de dirección, y se evaluaron rutas reales trasladadas a VR (trayecto peatonal plano, ruta ciclista con tráfico y un circuito con mayor pendiente y longitud). La validación comparó métricas de simulador frente a campo en indicadores como sentido de velocidad, frenado y manejo del manillar, y reportó mejoras netas de desempeño tras la calibración: desempeño global hasta 94,3 % en e-scooter y 91,9 % en e-bike, junto con concordancia visual entre curvas de aceleración y velocidad en simulador versus terreno. Los autores enmarcan la necesidad por vacíos de datos en tiempos de reacción, factores humanos y gestión/vida útil de baterías, proponiendo estos simuladores como infraestructura abierta y replicable para reducir impactos ambientales optimizando uso y diseño de microvehículos.

Con base en la revisión sistemática de literatura realizada durante el desarrollo del presente trabajo, se organizaron los resultados en figuras que permiten visualizar las principales tendencias encontradas. Se presentan y explican dichas figuras, las cuales reflejan aspectos clave relacionados con la evaluación del aprendizaje, los contextos educativos y los enfoques metodológicos aplicados en estudios sobre simuladores y entornos virtuales.

En la Figura 1 se presentan las estrategias utilizadas para evaluar el aprendizaje en los estudios analizados. Se identificó que las más recurrentes son las pruebas simuladas (6

menciones), seguidas por la evaluación en simulador (5 menciones) y el análisis de estudios previos (4 menciones). También se encuentran métodos como el seguimiento ocular, entrevistas, encuestas, y evaluaciones cualitativas, que permiten obtener datos tanto cuantitativos como cualitativos sobre el proceso de aprendizaje. Esta variedad de enfoques refleja una tendencia a evaluar no solo resultados, sino también procesos y percepciones en contextos de aprendizaje inmersivo.

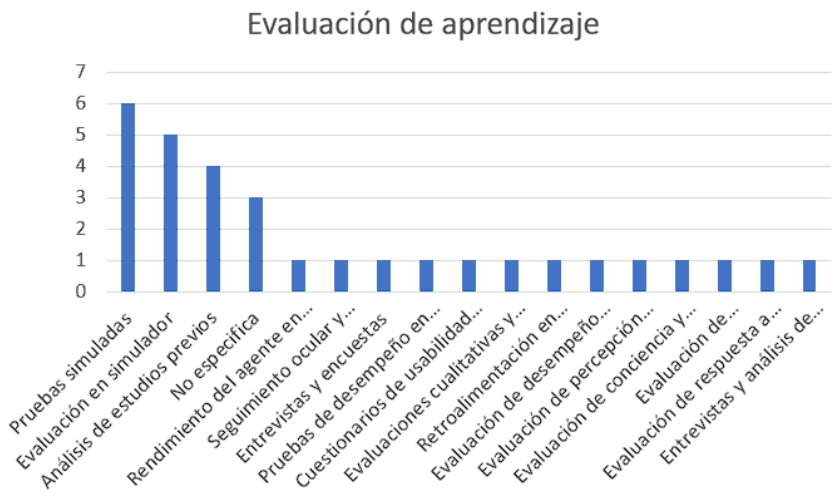


Figura 1. Técnicas de evaluación del aprendizaje en estudios revisados

La Figura 2 muestra los contextos educativos en los cuales se han aplicado entornos virtuales para el aprendizaje de señaléticas o conocimientos viales. La mayoría de los estudios se centraron en la formación en conducción (7 menciones) y la formación en seguridad vial (6 menciones), lo cual coincide directamente con el enfoque propuesto para el Sindicato de Choferes de Izamba. También se encontraron aplicaciones en contextos universitarios, educación especializada, e incluso en programas de investigación. Esto evidencia la versatilidad de las tecnologías inmersivas para adaptarse a distintos niveles y modalidades educativas.

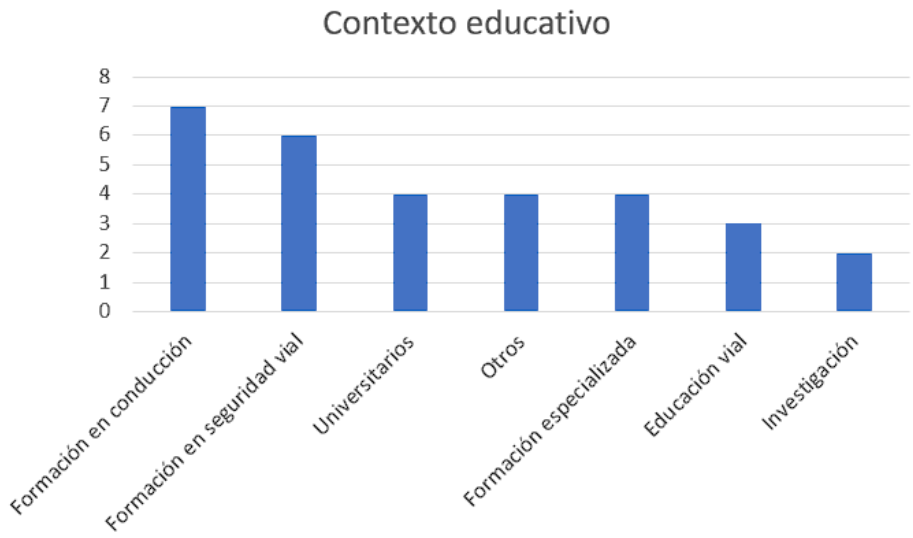


Figura 2. Ámbitos educativos donde se aplican los entornos virtuales

Respecto a los enfoques metodológicos, la Figura 3 revela que la mayoría de las investigaciones tienen un carácter experimental (13 estudios), lo que indica una orientación hacia la validación práctica de las herramientas desarrolladas. Le siguen los enfoques de desarrollo educativo (6 estudios) y revisión sistemática (4 estudios), lo cual sugiere un creciente interés en consolidar el conocimiento existente y proponer nuevas estrategias didácticas basadas en tecnología. También se encontraron estudios descriptivos, cualitativos y causa-experimentales, aunque en menor cantidad.



Figura 3. Tipos de investigación utilizados en los estudios analizados

1.3 Fundamentación teórica

La fundamentación teórica proporciona el sustento conceptual necesario para comprender el desarrollo del entorno virtual propuesto en esta investigación. Se abordan los principales enfoques relacionados con la simulación educativa, la enseñanza de la señalética de tránsito, el aprendizaje significativo, el uso de tecnologías de la información y la comunicación en procesos formativos, y la evaluación del aprendizaje mediante entornos virtuales. Estos elementos permiten establecer las bases para el diseño pedagógico y técnico del simulador, así como justificar su aplicación como una herramienta didáctica innovadora en la formación vial de conductores novatos. La revisión de estudios previos y teorías relevantes permite orientar el desarrollo del proyecto desde una perspectiva científica, pedagógica y tecnológica.

1.3.1 Simuladores virtuales

Los simuladores virtuales se definen como sistemas informáticos que recrean entornos y tareas del mundo real, permitiendo al usuario interactuar con escenarios controlados sin exponerse a riesgos físicos. En el ámbito de la educación vial, se han utilizado para entrenar conductores novatos, evaluar su desempeño y estudiar su comportamiento ante situaciones críticas de tráfico [2, 3, 5, 6, 10, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. El autor en [2] desarrolla un videojuego de realidad virtual orientado a la seguridad vial de conductores novatos, demostrando que los entornos inmersivos aumentan la motivación y facilitan la práctica repetida de maniobras de riesgo en condiciones controladas. Los autores en [3] implementan un simulador de conducción para conductores inexpertos que asigna penalizaciones ante errores de tráfico, evidenciando mejoras en la comprensión de normas y en el comportamiento durante la simulación.

Otros trabajos amplían esta perspectiva desde diferentes enfoques. El autor en [5] analiza las posibilidades de uso y acceso a simuladores en la formación de futuros conductores, subrayando su potencial siempre que exista una infraestructura adecuada y protocolos de evaluación estructurados. En [6] integran simulaciones de tráfico en realidad virtual como apoyo a la enseñanza teórica, mostrando que los estudiantes comprenden mejor las situaciones de tráfico cuando el contenido se representa en

escenarios dinámicos. Revisiones más extensas como las realizadas por los autores en [12, 10] concluyen que los simuladores apoyados en realidad virtual y tráfico artificial o co-simulación aportan un marco amplio para entrenamiento, investigación en seguridad vial y evaluación de nuevos sistemas de asistencia, siempre que se cuiden aspectos como la fidelidad del entorno y la validez de las métricas registradas.

En estudios recientes se han enfocado en validar simuladores específicos según diferentes tipos de vehículos y escenarios. El autor en [24] describen el diseño y validación de simuladores orientados a microvehículos eléctricos, mientras que en [23] los autores analizan cómo ayudas visuales como flechas e indicadores dentro de un simulador de realidad virtual mejoran el rendimiento de los estudiantes. Estos hallazgos ayudan a respaldar el uso de simuladores como herramienta central en el presente proyecto, donde el entorno virtual se adopta no solo como recurso didáctico, sino también como plataforma de evaluación objetiva del desempeño del estudiante.

1.3.2 Señalética de tránsito

La señalética de tránsito constituye un lenguaje visual normado que regula la circulación y orienta el comportamiento de conductores y peatones. Su correcta interpretación es un requisito básico para la seguridad vial, pero múltiples estudios señalan que muchos conductores novatos tienen dificultades para reconocer y aplicar las señales de manera adecuada, especialmente cuando su formación se limita a contenidos teóricos y ejercicios memorísticos [1, 3, 9, 11, 16, 17, 20]. Iniciativas basadas en simuladores han incorporado catálogos completos de señalización preventiva, reglamentaria e informativa dentro de escenarios urbanos, permitiendo observar en tiempo real cómo el usuario responde a semáforos, pasos peatonales, señales de Pare, límites de velocidad y advertencias de peligro [3, 9, 20].

El autor en [9], desarrollan una plataforma de realidad virtual y análisis de datos para educación vial urbana, integrando señalética normativa en entornos tridimensionales y utilizando la telemetría para analizar patrones de comportamiento. También en [11] presentan el juego serio “Woodlands”, orientado a habilidades prácticas de seguridad

vial (como el cruce seguro de calles), donde la señalética y el contexto visual guían la atención del usuario. Estos trabajos coinciden en que la señalética adquiere sentido cuando se presenta en situaciones de tráfico dinámicas y no como un listado aislado de símbolos. En esta investigación, el entorno virtual se diseña precisamente para evaluar si la exposición a escenarios urbanos simulados, con señalización ecuatoriana reglamentaria, preventiva e informativa, mejora la capacidad de reconocimiento y aplicación de las señales por parte de los estudiantes del Sindicato de Choferes de Izamba.

1.3.3 Aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo ocurre cuando la nueva información se relaciona con conocimientos previos y tiene sentido en la vida cotidiana del estudiante. En el caso de la educación vial, esto implica que las normas y señales no se aprendan como listas memorísticas, sino como herramientas para resolver situaciones reales de tránsito. Diversos estudios muestran que los simuladores y entornos virtuales facilitan este tipo de aprendizaje, al situar al usuario en contextos que demandan decisiones concretas frente a riesgos viales, peatones, otros vehículos y condiciones cambiantes de la vía [2, 3, 6, 8, 9, 11, 22].

En trabajos como los representa el autor en [8], el uso de realidad virtual con seguimiento ocular se orienta justamente a entrenar y medir cómo los participantes distribuyen su atención en situaciones complejas de tráfico, conectando conceptos teóricos de riesgo, orientación y atención con conductas observables en el simulador. En [6] y en [9] evidencian que la combinación de explicación teórica, práctica interactiva y retroalimentación inmediata favorece que los estudiantes construyan significados más profundos sobre la normativa de tránsito. En esta investigación, el entorno virtual se diseña bajo este enfoque, ofreciendo escenarios donde los estudiantes aplican directamente la señalética aprendida, reciben retroalimentación sobre sus aciertos y errores y pueden repetir las situaciones hasta consolidar un aprendizaje funcional y no solo declarativo.

1.3.4 Educación vial con TIC

Las TIC han transformado la enseñanza de la seguridad vial al permitir el uso de plataformas digitales, aplicaciones, sistemas de realidad virtual y entornos de simulación que complementan las clases presenciales. Revisiones como la del autor en [12] muestran que los simuladores con tráfico artificial e integración de realidad virtual constituyen una de las líneas más prometedoras en la educación de conductores, especialmente cuando se combinan con analíticas de datos y sistemas de evaluación automatizada. En [17] su revisión sistemática sobre la educación de conductores novatos, concluyen que los programas que incluyen tecnologías avanzadas (simuladores, entrenamiento basado en realidad virtual y herramientas interactivas) tienden a mejorar la anticipación de riesgos y la gestión de la atención.

Otras contribuciones amplían el panorama hacia tecnologías emergentes ligadas a la automatización del tráfico y los sistemas avanzados de asistencia al conductor se dan en [13, 14, 15] analizan estrategias de aprendizaje y programas de capacitación para que los conductores comprendan y usen adecuadamente estas tecnologías, resaltando la importancia de combinar teoría, práctica asistida y herramientas digitales para formar modelos mentales más sólidos. En paralelo, trabajos como el de [19] proponen plataformas de co-simulación de tráfico en realidad virtual para evaluar la seguridad, mientras que el autor en [24] se centran en simuladores para micro vehículos eléctricos. Estos desarrollos reflejan una tendencia clara: la educación vial se apoya cada vez más en TIC especializadas, capaces de registrar datos detallados de interacción y rendimiento, lo que resulta coherente con el enfoque adoptado en el presente proyecto, que integra un entorno virtual desarrollado en Godot, una base de datos MySQL y servicios web para la gestión de información de desempeño.

1.3.5 Evaluación del aprendizaje con simuladores

La evaluación del aprendizaje en entornos virtuales es esencial para demostrar si estas herramientas realmente generan mejoras en el conocimiento y las habilidades de los usuarios. Numerosos estudios emplean diseños de tipo pretest–postest, comparando el desempeño de los participantes antes y después de la intervención con simuladores [3,

6, 8, 9, 17, 20, 22, 23]. Los autores en [3] utilizan penalizaciones y puntajes dentro del simulador para medir la evolución de conductores inexpertos, mientras que Yan et al. [20] se valen de un simulador para probar la efectividad de un sistema de alerta auditiva en cruces semaforizados, midiendo tiempo de reacción y reducción de comportamientos de riesgo.

El autor en [8] integran realidad virtual con seguimiento ocular para evaluar un programa educativo centrado en conceptos de riesgo, orientación y atención, analizando cómo cambian los patrones de mirada y comprensión de la situación de tráfico antes y después del entrenamiento. En [23], por su parte, valoran el impacto de ayudas visuales tipo "imagen-flecha" en el rendimiento de los aprendices, concluyendo que ciertos diseños de interfaz mejoran el desempeño en tareas de conducción. Estas investigaciones coinciden en que la evaluación debe apoyarse en métricas objetivas como puntajes, número y tipo de errores, tiempos de reacción, trayectorias realizadas y cuando es posible complementarse con encuestas de percepción y usabilidad. El presente trabajo adopta esta lógica al aplicar pruebas de conocimiento previas y posteriores al uso del simulador, registrar automáticamente los resultados de cada sesión y utilizar cuestionarios estructurados para conocer la percepción de los estudiantes sobre la utilidad y facilidad de uso del entorno virtual.

1.3.6 Herramientas y modelos aplicados

Más allá del uso básico de simuladores, la literatura reciente explora modelos avanzados para personalizar y escalar la educación vial. Los autores en [4, 18] proponen un "instructor de conducción virtual" basado en un sistema multi-agente apoyado en grafos de conocimiento, capaz de evaluar el desempeño del conductor de manera comparable a expertos humanos y de adaptar las recomendaciones a las necesidades del aprendiz. El autor en [7] incorporan instrucciones de voz en procesos de aprendizaje por refuerzo profundo para la conducción autónoma, mostrando que la interacción natural entre humanos y agentes mejora la eficiencia del entrenamiento.

En [19] desarrollan una plataforma de co-simulación de tráfico en realidad virtual para análisis de seguridad, que integra modelos de tráfico, reconstrucción de escenarios y evaluación de riesgos, mientras que en [24] describen la arquitectura y validación de

simuladores específicos para microvehículos, enfatizando la necesidad de modelos realistas de dinámica del vehículo y del entorno. Estos trabajos muestran que el diseño de un entorno virtual educativo no solo implica la representación visual del escenario, sino también la implementación de modelos de interacción, registro de telemetría y análisis de datos que permitan ofrecer retroalimentación rica y orientar decisiones pedagógicas.

1.3.7 Lenguaje de programación

El lenguaje de programación empleado en un simulador condiciona la arquitectura del sistema, la integración con otros servicios y la forma de instrumentar la recolección de datos. En muchos de los trabajos revisados, los simuladores se desarrollan sobre motores de juego como Unity o plataformas específicas, integrando lenguajes como C#, C++ o Python para la lógica de simulación, la comunicación con sensores virtuales y la conexión a bases de datos y APIs externas [19, 20, 21, 22]. En proyectos de realidad virtual y co-simulación, como se explica en [19], se enfatiza la importancia de utilizar lenguajes y librerías que faciliten la interacción con motores de simulación de tráfico y sistemas de visualización inmersiva. Los trabajos sobre conducción autónoma y aprendizaje por refuerzo, como el que explica el autor en [7], se apoyan en lenguajes que permiten implementar algoritmos de inteligencia artificial y conectarlos a simuladores como CARLA.

En el contexto de esta investigación, el uso de un motor como Godot 4 y un lenguaje de scripting asociado (por ejemplo, GDScript) facilita la implementación de la lógica de escenarios, la interacción del vehículo con la señalética y la comunicación con una API REST desarrollada en PHP. Esta elección se alinea con las buenas prácticas reportadas en la literatura, al priorizar herramientas con buena documentación, capacidad de integración y soporte multiplataforma, además de permitir la instrumentación de eventos de telemetría (errores, aciertos, tiempos, trayectoria) que serán utilizados para la evaluación del aprendizaje.

1.3.8 Entorno virtual

El entorno virtual, entendido como representación digital de escenarios reales o hipotéticos, es el eje sobre el que se articula la experiencia de aprendizaje en este proyecto. Estudios como los de [21, 22] muestran que los simuladores de realidad virtual permiten estudiar el comportamiento de los conductores, su adaptación a nuevas tecnologías y su respuesta ante diferentes condiciones de la vía, con un alto grado de control experimental. Los autores en [10] concluyen que la realidad virtual entregada mediante cascos (head-mounted displays) ofrece un alto potencial para investigaciones en seguridad vial, siempre que se consideren aspectos como el malestar por simulación y el diseño de tareas realistas.

El autor en [9] aportan además la perspectiva del análisis de datos en entornos virtuales de educación vial, integrando métricas de movilidad urbana y comportamiento del usuario, mientras que en [19] plantean entornos de co-simulación que combinan modelos de tráfico y visualización inmersiva. Estas contribuciones respaldan la idea de que un entorno virtual bien diseñado puede servir tanto para la enseñanza de contenidos como para la evaluación sistemática del desempeño del usuario. En el proyecto el entorno simulado reproduce intersecciones, avenidas y señalética de la normativa ecuatoriana, permitiendo observar el desarrollo de habilidades cognitivas asociadas a la interpretación y aplicación de las señales, y analizando si los conocimientos adquiridos se transfieren a situaciones evaluativas formales.

1.3.9 Metodología de desarrollo

La metodología de desarrollo define los procesos técnicos y pedagógicos que guían la construcción de sistemas educativos basados en simulación. En [1, 16] analizan la efectividad de distintos métodos de enseñanza en la preparación de futuros docentes para impartir contenidos relacionados con la seguridad vial, concluyendo que los enfoques activos, centrados en el estudiante y apoyados en actividades prácticas, favorecen mejor la adquisición de competencias que las metodologías expositivas tradicionales. El autor en [17] revisan sistemáticamente los avances en la educación de conductores novatos entre 2000 y 2024, destacando que los programas más

efectivos combinan formación teórica, simuladores, tecnologías digitales y estrategias de seguimiento continuo.

Los trabajos sobre integración de nuevas tecnologías en la formación de conductores como los de [13, 14, 15], enfocados en sistemas ADAS y conducción automatizada coinciden en la necesidad de metodologías iterativas y centradas en el usuario que permitan evaluar, ajustar y reforzar los contenidos en función de la respuesta de los estudiantes. Muchas experiencias con simuladores de conducción y realidad virtual siguen esquemas por fases que incluyen análisis de necesidades, diseño de escenarios, implementación técnica, prueba piloto, recolección de datos y evaluación de impacto [2, 3, 6, 8, 9, 12]. Esta lógica es coherente con el enfoque de la metodología SUM adoptada en el presente trabajo, que estructura el desarrollo del entorno virtual en fases iterativas desde la conceptualización y el diseño, hasta la implementación, prueba beta y evaluación asegurando que los objetivos pedagógicos se mantengan alineados con las decisiones técnicas a lo largo de todo el proceso de desarrollo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un entorno virtual interactivo que mejore el aprendizaje de la señalética de tránsito en aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba, mediante un sistema de simulación vial adaptado a escenarios urbanos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos técnicos para el desarrollo del entorno virtual de simulación.
- Investigar herramientas tecnológicas apropiadas para el diseño de entornos virtuales educativos orientados a la formación vial.
- Desarrollar un entorno virtual de simulación orientado al entrenamiento vial, integrando escenarios virtuales y señalización conforme a la normativa ecuatoriana de tránsito.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la recolección de información del proyecto sobre aprendizaje de las señaléticas de tránsito en el Sindicato de Choferes de Izamba se emplearon encuestas y entrevistas dirigidas a los actores clave del proceso formativo. La encuesta fue aplicada a los estudiantes con el objetivo de identificar sus necesidades, percepciones y expectativas respecto a los métodos actuales de enseñanza y práctica de las señaléticas, así como su disposición al uso de entornos virtuales y simuladores para fortalecer el aprendizaje (Anexo A).

En la entrevista se realizó al cuerpo docente y al jefe del sindicato, con el propósito de caracterizar el proceso vigente de instrucción, reconocer sus limitaciones operativas e institucionales y levantar propuestas de mejora que optimicen la planificación, la evaluación y la implementación de recursos tecnológicos en la formación vial (Anexo B).

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en la investigación, se han considerado tres modalidades complementarias: bibliográfica, de campo y aplicada. Esta combinación metodológica permite integrar una base teórica sólida, contrastar dicha teoría con la realidad del contexto estudiado y desarrollar una solución tecnológica que responda de manera práctica a la problemática identificada.

- ***Modalidad bibliográfica***

  Esta modalidad se aplicará en la fase inicial del proyecto mediante la revisión de literatura científica, libros especializados, artículos académicos y documentos técnicos relacionados con el uso de simuladores virtuales, entornos de realidad virtual y metodologías de enseñanza de la señalética de tránsito. El análisis

permitirá construir un marco teórico fundamentado que sustente la pertinencia del simulador propuesto y oriente las decisiones técnicas y pedagógicas durante su desarrollo.

- ***Modalidad de campo***

La modalidad de campo se implementará a través de la recolección de información directa con los actores involucrados, en este caso, estudiantes y docentes del Sindicato de Choferes de Izamba. Se aplicarán encuestas y entrevistas con el fin de identificar las necesidades formativas, las dificultades en el aprendizaje de la señalética y las expectativas respecto al uso de entornos virtuales. Asimismo, se realizarán pruebas piloto con usuarios finales para validar la utilidad, usabilidad y eficacia pedagógica del simulador.

- ***Modalidad aplicada***

La modalidad aplicada se evidencia en la construcción de un mundo virtual funcional e inmersivo orientado a la enseñanza de la señalética de tránsito. Esta modalidad da respuesta directa a la problemática identificada en el entorno académico, al ofrecer un espacio de aprendizaje seguro y controlado que nos ayuda con la práctica guiada y la retroalimentación inmediata. No se limita a la implementación técnica del sistema. Comprende también su validación mediante pruebas reales con usuarios finales que serían los estudiantes y docentes, lo que permite verificar su efectividad en su usabilidad. Los resultados obtenidos respaldan su replicabilidad y adaptación a otros cursos y escenarios educativos, a la vez que ayuda con las capacidades tecnológicas de la institución y demuestra cómo los resultados de la investigación pueden traducirse en soluciones prácticas que mejoran la eficiencia de los procesos académicos.

2.2.2 Población y muestra

La población de estudio estará conformada por los aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba (Ambato, Ecuador) que se encuentren en proceso de formación vial durante el segundo semestre del año 2025.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicará la fórmula de población finita, considerando un nivel de confianza del 95% (Z = 1.96), una desviación estándar (p) de 0.5 y un error de estimación (e) del 10% (0.1).

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot d \cdot (1 - d)}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot d \cdot (1 - d)}$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra
- N = tamaño de la población (44 estudiantes)
- Z = valor de la distribución normal para el nivel de confianza (1.96 para 95%)
- p = proporción esperada de éxito o variabilidad (0.5)
- 1 - p = proporción complementaria (0.5)
- e = error de estimación o margen de error permitido (0.1 = 10%)

Sustituyendo los valores:

$$n = \frac{44 \cdot (1{,}96)^2 \cdot 0{,}5 \cdot (1 - 0{,}5)}{0{,}1^2 \cdot (44 - 1) + (1{,}96)^2 \cdot 0{,}5 \cdot (1 - 0{,}5)} \approx 30$$

Resultado: De los 44 aspirantes, con un nivel de confianza del 95 % y un error del 10 %, se obtiene una muestra de 30 estudiantes.

2.2.3 Recolección de información

La recolección de información se estructuró con el propósito de reunir datos relevantes que permitan alcanzar los objetivos planteados en esta investigación. El foco principal fue identificar las dificultades que enfrentan los aspirantes a conductores en el proceso de aprendizaje de las señaléticas de tránsito, evaluar la aceptación de un entorno virtual como herramienta de apoyo pedagógico y explorar el nivel de interés en el uso de simuladores digitales para reforzar la formación vial.

Para ello, se emplearon dos técnicas fundamentales: encuestas dirigidas a los estudiantes en formación, y entrevistas aplicadas a los docentes responsables de la

enseñanza teórica y práctica. Estas técnicas permitieron obtener información valiosa sobre la experiencia de los usuarios, sus percepciones acerca de los métodos actuales de enseñanza y sus expectativas respecto a posibles mejoras a través de la implementación de recursos tecnológicos. La combinación de estas herramientas proporcionó una visión integral del entorno institucional y facilitó el diseño de una solución alineada con las necesidades reales de los actores involucrados.

- ***Encuestas a los estudiantes***

Las encuestas fueron diseñadas específicamente para los estudiantes del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba y distribuidas de manera presencial y digital, con el fin de garantizar accesibilidad y participación. El cuestionario incluyó preguntas de tipo Likert orientadas a medir la claridad, comprensión y recordación de las señaléticas de tránsito, así como la disposición de los estudiantes para utilizar un entorno virtual como apoyo al proceso de enseñanza.

Se indagó sobre la familiaridad con simuladores o recursos interactivos previos y las expectativas que tendrían respecto a un entorno virtual que permita practicar la interpretación de la señalética de manera dinámica. Esta información permitió recopilar datos cuantitativos sobre la percepción del alumnado y su disposición a incorporar tecnologías innovadoras en su formación vial. Los resultados obtenidos servirán como insumo para ajustar los requerimientos del entorno virtual y orientar su diseño pedagógico y funcional.

- ***Validación del instrumento***

Para asegurar la validez y confiabilidad del instrumento de recolección de datos, se diseñó una encuesta con escala tipo Likert de 5 puntos, desde **"Totalmente en desacuerdo" (1)** hasta **"Totalmente de acuerdo" (5)**. El cuestionario (Anexo A) estuvo compuesto por 10 ítems distribuidos en constructos relevantes para el mundo virtual propuesto: claridad de la señalética, realismo/immersión del entorno, usabilidad, retroalimentación del sistema, carga cognitiva percibida, motivación e intención de uso.

El instrumento fue sometido a un proceso de validación de contenido mediante juicio de expertos, en el que participaron docentes del área de educación vial y especialistas

vinculados al Sindicato de Choferes. Cada juez evaluó los ítems de la encuesta utilizando una escala de Likert de 1 a 5 para tres criterios específicos: claridad**,** relevancia y representatividad del ítem respecto al constructo que pretende medir. La escala empleada se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala de valoración Likert para el juicio de expertos

Criterio	**1 (Muy baja)**	**2 (Baja)**	**3 (Media)**	**4 (Alta)**	**5 (Muy alta)**
Claridad	1	2	3	4	5
Relevancia	1	2	3	4	5
Representatividad	1	2	3	4	5

Con las valoraciones de los jueces se calcularon los promedios por ítem y por criterio, para cada ítem se sumaron las puntuaciones otorgadas por los expertos en cada criterio y se dividieron para el número total de jueces, lo que permitió identificar posibles ítems problemáticos y realizar ajustes de redacción cuando fue necesario. La Tabla 5 presenta un resumen de los promedios obtenidos para los 10 ítems del cuestionario.

Tabla 5. Promedio de los criterios evaluados en el juicio de expertos

Ítem	**Claridad**	**Relevancia**	**Representatividad**
I1	4.50	4.70	4.60
I2	4.80	4.90	4.70
I3	4.40	4.60	4.50
I4	4.30	4.50	4.40
I5	4.60	4.70	4.60
I6	4.50	4.60	4.50
I7	4.70	4.80	4.70
I8	4.60	4.70	4.60
I9	4.40	4.50	4.40
I10	4.50	4.60	4.50

Todos los promedios se ubican por encima de 4,3 en los tres criterios evaluados, lo que indica que los ítems presentan una claridad adecuada, son relevantes para los objetivos del estudio y representativos de las dimensiones que se pretenden medir.

A partir de las observaciones recogidas en el Anexo B se realizaron ajustes de redacción para mejorar la precisión de algunos términos técnicos y evitar ambigüedades. Con ello se considera que el cuestionario cuenta con una validez de contenido aceptable para ser aplicado en la población objetivo.

1. **¿Has escuchado sobre entornos virtuales para el aprendizaje?**

Tabla 6. Tabla de resultados de la pregunta 1

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Si	26	86,67%
No	4	13,33%
Total	30	100%

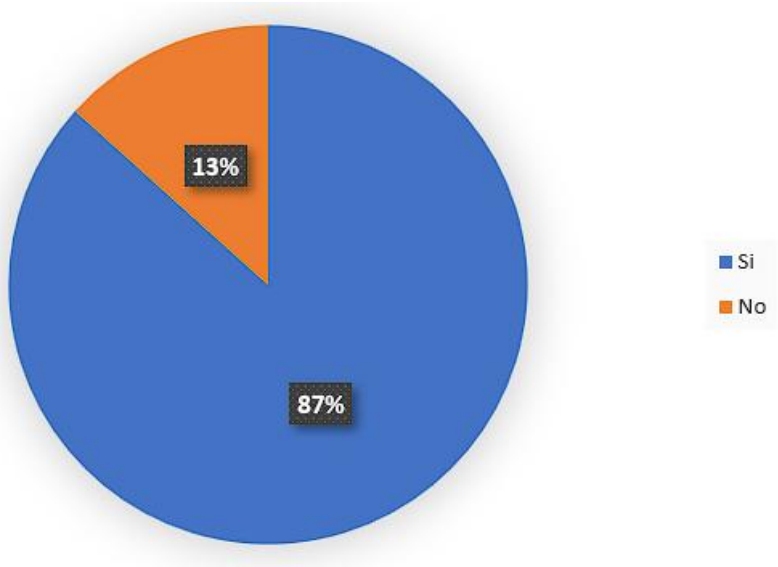


Figura 4. Resultados de la pregunta 1

La Figura 4 refleja que una mayoría muy sólida de los encuestados (86,7%) ya ha escuchado sobre entornos virtuales. Esto indica una familiaridad inicial que reduce barreras de entrada para un piloto y facilita la comunicación: no habría que

"convencer" desde cero sobre qué es un entorno virtual, sino enfocar la capacitación en el uso práctico. El 13,3% que no ha oído del tema sugiere la necesidad de un breve video o demo guiada para nivelar conocimientos y evitar que esta minoría quede rezagada. En resumen, hay terreno fértil para implementar el recurso con alta receptividad inicial.

2. ¿Has utilizado alguna vez un entorno virtual (simulaciones/juegos) para aprender?

Tabla 7. Tabla de resultados de la pregunta 2

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Si	18	60%
No	12	40%
Total	30	100%

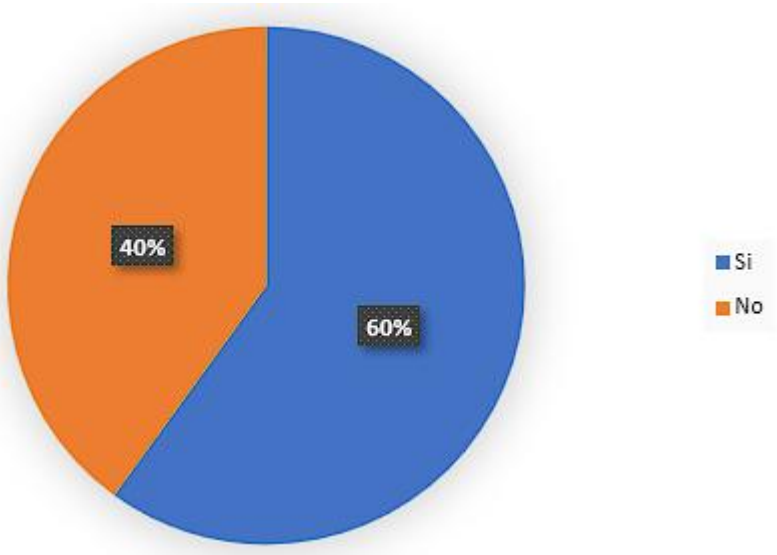


Figura 5. Resultados de la pregunta 2

Se observa en la Figura 5 que 6 de cada 10 estudiantes ya han utilizado algún entorno virtual (simulaciones o juegos) para aprender, lo cual acorta la curva de aprendizaje del proyecto: muchos reconocerán patrones de interacción (HUD, misiones, retroalimentación). El 40% sin experiencia previa no es menor; por ello, conviene ofrecer dos recorridos: uno "rápido" para quienes ya dominan dinámicas

virtuales y otro “guiado” para principiantes. Esta segmentación ayuda a mantener la motivación y evita frustraciones iniciales, especialmente en los primeros 15–20 minutos de uso.

3. **Considero que un entorno virtual sería útil para aprender las señales de tránsito**

Tabla 8. Tabla de resultados de la pregunta 3

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	3	10,00%
De acuerdo	11	36,67%
Totalmente de acuerdo	14	46,67%
Total	30	100%

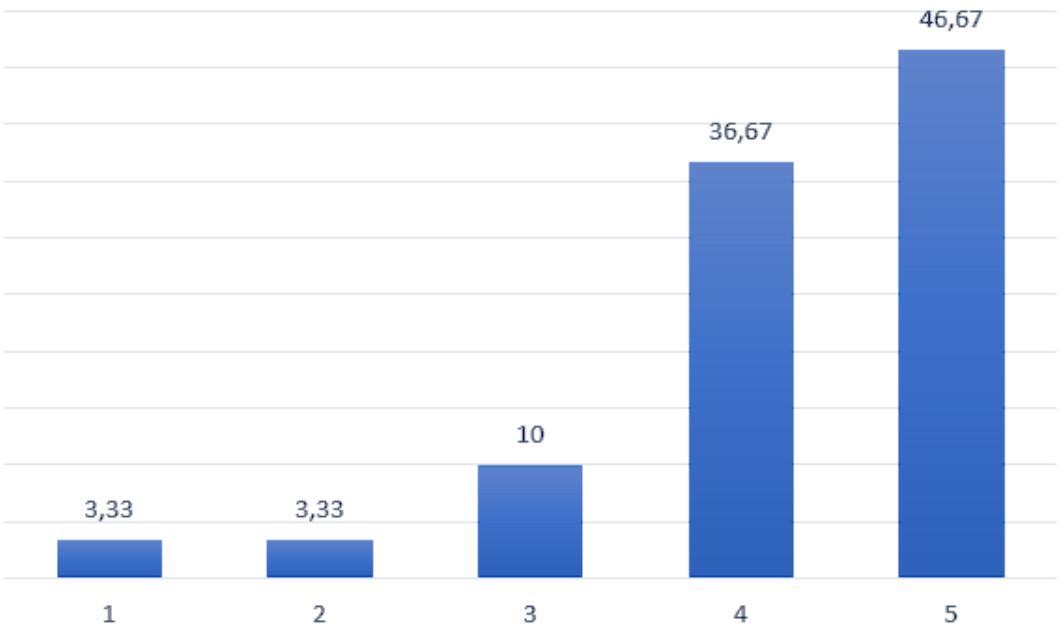


Figura 6. Resultados de la pregunta 3

Predomina el acuerdo (4–5) con 83,3% del total, mostrando una alta aceptación pedagógica de la herramienta para aprender señales. Solo un 6,7% está en desacuerdo

y un 10% se mantiene neutral, lo que sugiere que las resistencias son marginales. La lectura práctica es clara: hay licencia social para integrar el entorno virtual al currículo; bastará con alinear el contenido (preventivas, reglamentarias e informativas) a objetivos y evaluaciones formales para maximizar impacto.

4. **Me sentiría más seguro en un examen práctico si antes pudiera practicar las señales de tránsito en un entorno virtual.**

Tabla 9. Tabla de resultados de la pregunta 4

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	4	13,33%
De acuerdo	12	40%
Totalmente de acuerdo	12	40%
Total	30	100%

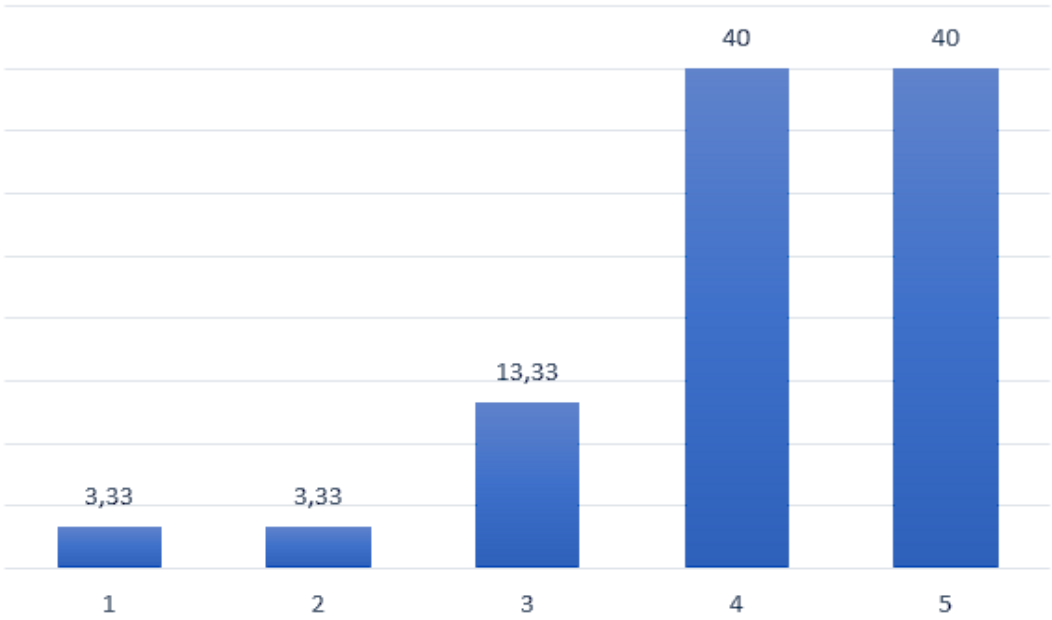


Figura 7. Resultados de la pregunta 4

En la figura 7 el 80% anticipa que practicar en un entorno virtual aumentará su seguridad de cara al examen práctico. Este indicador es clave porque la autoeficacia (creencia en la propia capacidad) correlaciona con mejor desempeño en pruebas de ejecución. Para capitalizarlo, el entorno debería incluir escenarios progresivos (de señales aisladas a contextos de tráfico) y retroalimentación clara que refuerce la sensación de dominio. La minoría en desacuerdo (6,7%) podría beneficiarse de pruebas cortas y visibles de "antes vs. después".

5. **Un entorno virtual podría ayudarme a practicar la identificación de señales de tránsito sin riesgos reales.**

Tabla 10. Tabla de resultados de la pregunta 5

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	3	10%
De acuerdo	10	33,33%
Totalmente de acuerdo	15	50%
Total	30	100%

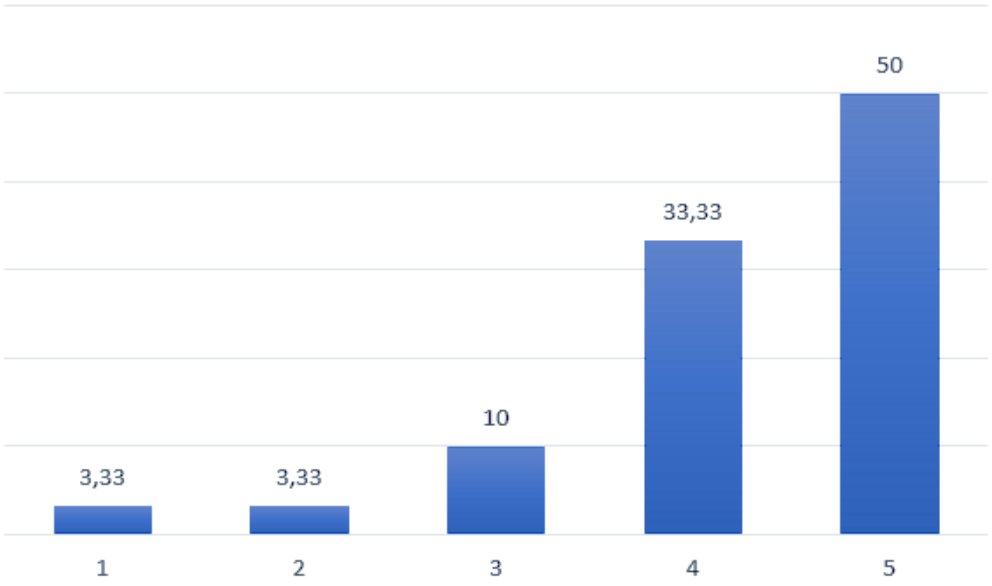


Figura 8. Resultados de la pregunta 5

En la figura 8 el 83,3% valora explícitamente la práctica sin riesgo, uno de los principales diferenciales de los entornos virtuales. Este hallazgo legitima la inversión en simulaciones de errores comunes (confusión entre señales similares, jerarquía de prioridad, atención dividida) donde fallar no tiene consecuencias. Incluir un modo de práctica libre y un modo examen ayudaría a combinar exploración con evaluación formativa, manteniendo la ganancia en confianza y seguridad vial.

6. **El uso de un entorno virtual haría el aprendizaje de las señales más dinámico e interactivo que los métodos tradicionales.**

Tabla 11. Tabla de resultados de la pregunta 6

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	4	13,33%
De acuerdo	11	36,67%
Totalmente de acuerdo	13	43,33%
Total	30	100%

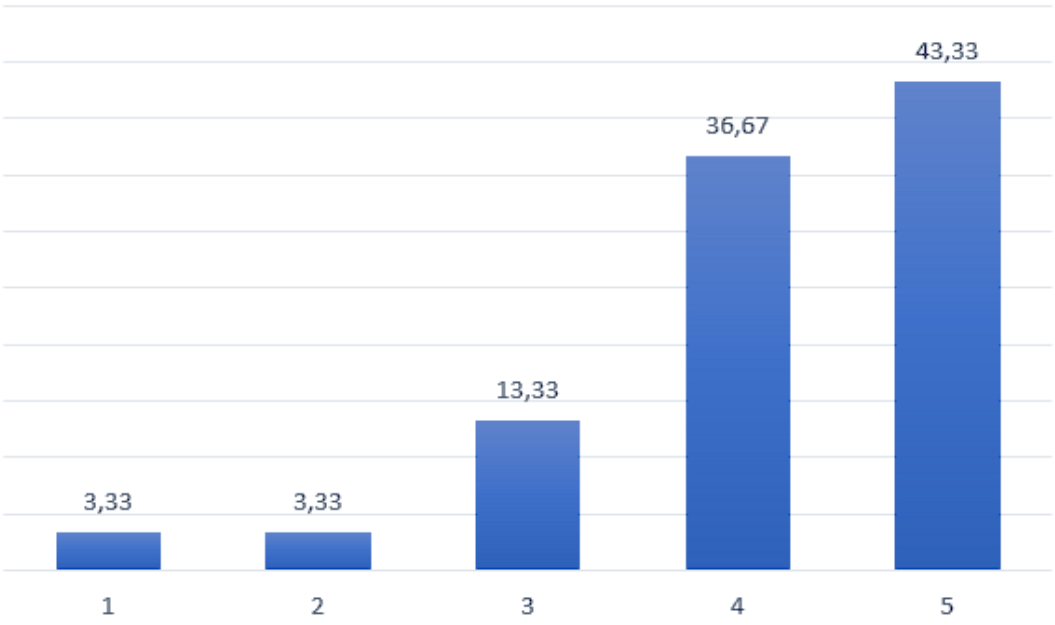


Figura 9. Resultados de la pregunta 6

Con 80% en acuerdo (4–5), los estudiantes perciben el entorno virtual como más dinámico e interactivo que los métodos tradicionales. Esto es relevante para engagement y retención: la interactividad incrementa la atención sostenida y el tiempo efectivo de práctica. Para mantener ese dinamismo, conviene incorporar retos cortos, logros y tablas de progreso individual (badge o calificación por módulo), evitando la sobrecarga cognitiva con interfaces limpias.

7. **Me gustaría utilizar un entorno virtual como herramienta complementaria en mi formación como conductor.**

Tabla 12. Tabla de resultados de la pregunta 7

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	3	10,00%
De acuerdo	11	36,67%
Totalmente de acuerdo	14	46,67%
Total	30	100%

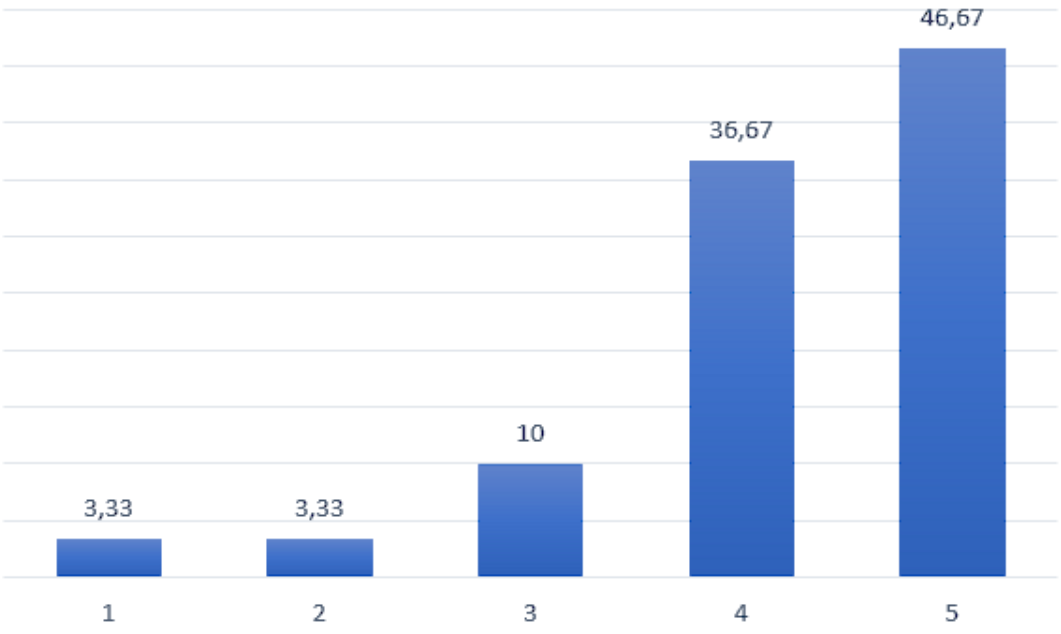


Figura 10. Resultados de la pregunta 7

El 83,3% está dispuesto a usar el entorno virtual como complemento de la formación tradicional. Esto sugiere que los estudiantes no buscan sustituir las prácticas presenciales, sino potenciarlas. Por ello, el diseño instruccional debería integrar el entorno con el aula/taller: por ejemplo, tareas previas (pre-work) de identificación de señales y checklists de desempeño que el instructor revise. Así se crea un circuito teoría–práctica–refuerzo.

8. **Creo que un entorno virtual podría ayudarme a recordar y diferenciar mejor las señales preventivas, reglamentarias e informativas.**

Tabla 13. Tabla de resultados de la pregunta 8

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	4	13,33%
De acuerdo	12	40%
Totalmente de acuerdo	12	40%
Total	30	100%

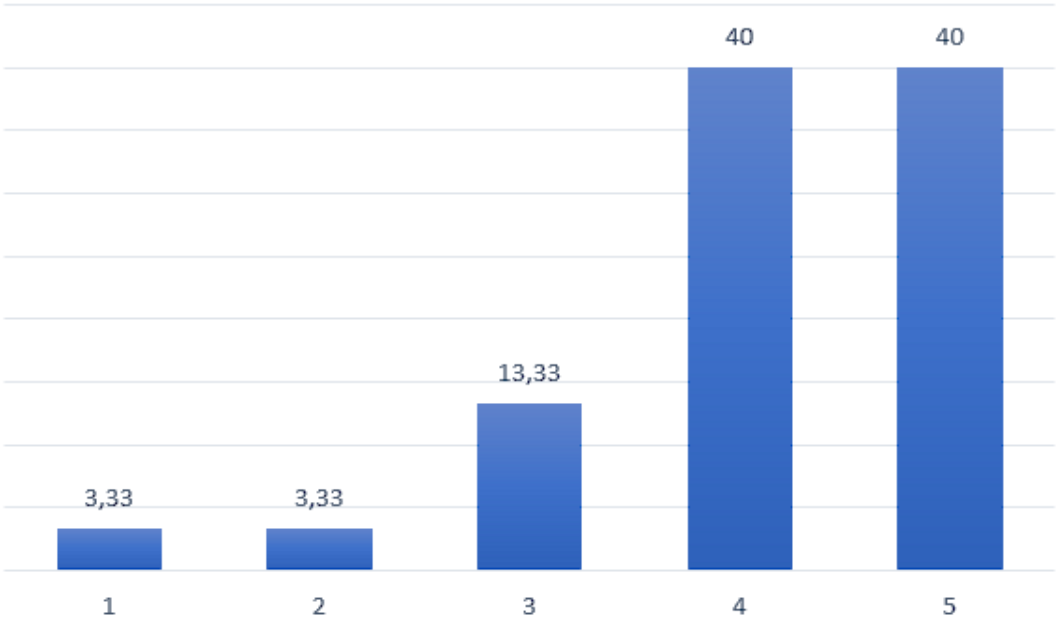


Figura 11. Resultados de la pregunta 8

El 80% cree que el entorno virtual mejorará el recuerdo y la diferenciación entre preventivas, reglamentarias e informativas. Para lograrlo, el sistema debería usar variaciones de contexto (iluminación, clima, distancia, ángulos) y distractores realistas que obliguen a un reconocimiento robusto. Además, conviene incluir resúmenes visuales por categoría y micro-quizzes espaciados (repetición espaciada) para consolidar la memoria a largo plazo.

9. **Considero que el uso de un entorno virtual para aprender señales de tránsito mejoraría mi rendimiento en situaciones prácticas de conducción.**

Tabla 14. Tabla de resultados de la pregunta 9

Opciones	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Totalmente en desacuerdo	1	3,33%
En desacuerdo	1	3,33%
Neutral	5	16,67%
De acuerdo	11	36,67%
Totalmente de acuerdo	12	40%
Total	30	100%

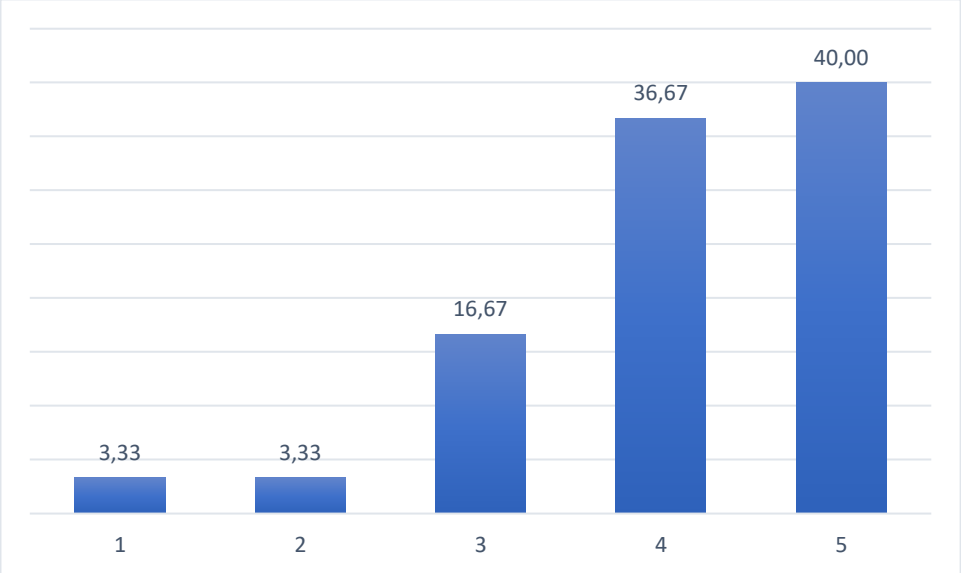


Figura 12. Resultados de la pregunta 9

El 76,7% espera mejora en el rendimiento práctico, un resultado ligeramente menor que en otras preguntas, pero igualmente favorable. La diferencia puede explicarse porque la transferencia (del entorno virtual a la vía real) depende de cuán fiel sea la simulación: señales con proporciones correctas, distancias de visibilidad, oclusiones (árboles, postes) y señalización combinada en intersecciones reales. Recomendación: diseñar escenarios ancla basados en puntos conflictivos locales del Sindicato o de la zona; esto cierra la brecha entre práctica virtual y desempeño real.

La consistencia interna se evaluó mediante el alfa de Cronbach (α). A partir de las respuestas obtenidas, la varianza de la puntuación total (suma de ítems) fue 44,90, mientras que la sumatoria de varianzas individuales de los ítems fue 10,10 (k = 10 ítems). Con estos valores, el coeficiente resultó $\alpha = 0,86$, lo que, según los criterios de interpretación usuales, corresponde a una "muy buena confiabilidad". Este resultado indica que los ítems se encuentran adecuadamente relacionados y miden de forma consistente los constructos propuestos, por lo que el instrumento es apto para el análisis de la efectividad pedagógica, usabilidad e intención de uso del entorno virtual en contextos académicos.

- ***Entrevistas a los docentes***

Las entrevistas fueron aplicadas a los docentes responsables de la enseñanza teórica y práctica de la señalética de tránsito dentro del proceso formativo. Estas entrevistas se realizaron de manera presencial, siguiendo una guía estructurada que permitió obtener información clara y comparable.

Se abordaron aspectos como las estrategias actuales de enseñanza de la señalética, las herramientas pedagógicas utilizadas, las principales dificultades detectadas en los estudiantes, así como las sugerencias de los docentes para mejorar el proceso de enseñanza–aprendizaje.

Se recopilaron opiniones respecto al potencial de los entornos virtuales y simuladores como recursos de apoyo, identificando fortalezas y limitaciones en su futura implementación. Esta técnica permitió profundizar en aspectos pedagógicos que no pueden ser captados únicamente a través de encuestas, complementando el análisis de campo y aportando criterios fundamentales para el diseño del simulador.

Tabla 15. Preguntas entrevistas a docentes

Pregunta	**Respuesta**	**Observación**
¿Cómo se enseña actualmente las señales de tránsito en el sindicato?	Con módulo/materia de educación vial (teoría) y práctica de conducción guiada por el instructor.	La combinación teoría–práctica existe, pero no siempre está sistematizada ni personalizada por nivel/licencia.
¿Qué recursos o materiales usan con mayor frecuencia?	Módulos virtuales, material tecnológico, folletos, y práctica en vía; clases apoyadas en computadora.	Recursos básicos; falta un programa de simulación estable y continuo.
¿Qué funciona bien en la enseñanza actual?	La parte práctica: conecta la señal con la maniobra real y fortalece la conducción defensiva.	El valor práctico es claro; se sugiere estandarizar criterios y secuencias didácticas.
¿Qué limitaciones enfrentan los estudiantes al aprender señalética?	Falta de compromiso, priorizar "cumplir horas" sobre comprender; variación constante de señales; contexto urbano con señalización insuficiente (p. ej., Ambato).	Factores individuales y contextuales impactan la transferencia; urge reforzar motivación y práctica guiada.
¿Cuentan con simuladores o recursos digitales?	Educación virtual y simulaciones puntuales; se evidencia carencia de programa de simulación.	Hay antecedentes, pero no un sistema sostenido.
¿Qué tipo de simulador sería más útil?	Entorno 3D/VR con cabina o simulador interactivo; escenarios de ciudad y carretera.	Se prioriza realismo y repetibilidad; oportunidad para validar por licencia/competencias.

¿Qué observan en los estudiantes al aprender señalética?	Depende del tipo de licencia; hay miedos al tráfico; diferencias etarias y de interés.	Requiere andragogía/pedagogía diferenciada y rutas adaptativas.
Errores comunes	Confusión por colores, formas y categorías; lectura de prioridades y semáforos en escenarios dinámicos.	Necesario banco de errores con corrección paso a paso.
¿Cómo reaccionan en exámenes o conducción real?	Ansiedad y transferencia desigual de lo teórico a lo práctico.	Importa la retroalimentación inmediata y prácticas progresivas.
Factores que dificultan memorizar/comprender	Contexto con poca señalización, distracciones, escaso hábito de estudio.	Reforzar hábitos, recordatorios y prácticas repetibles.
Aspectos indispensables del entorno virtual	Paneles dinámicos, visibilidad/luminancia correcta, figuras exactas y entorno adecuadamente ambientado.	Cuidar ergonomía visual y estándares normativos locales.
¿Qué debe hacer el software ante un error?	Calificar y descontar puntos; registrar fallos.	Sistema de puntuación y trazabilidad para feedback formativo.
Tipo de retroalimentación preferida	Explicaciones inmediatas y correcciones paso a paso; repetir práctica.	Feedback formativo y breve; evitar sobrecarga cognitiva.
Señales/situaciones a priorizar	Reglamentarias como prioridad, sin excluir preventivas y	Enfoque por criticidad y frecuencia de uso.

	contravenciones; semáforos y paso cebra.	
Nivel de realismo deseado	Normal–alto, con escenarios de ciudad y carretera; evitar exceso de elementos.	Balancear realismo y carga mental.
Rol del docente en el entorno virtual	Guía–evaluador u observador según fase.	Docente como facilitador y validador de competencias.
Integración con las clases	Práctica complementaria; ojalá valide horas de formación; posible uso como examen.	Alinear con malla y criterios de acreditación.
Beneficios esperados	Mejor visualización, reducción de costos y riesgos, mayor retención y estandarización.	Medir impacto con pre/post-test y métricas objetivas.
Riesgos/dificultades esperadas	Resistencia de alumnos que prefieren práctica real; mareo en VR en casos puntuales.	Gestión del cambio y sesiones de inducción.
Mayor problema a resolver	Bajo compromiso docente/estudiantil en señalética y déficits de señalización urbana.	El simulador compensa contexto y estandariza instrucción.
Recomendaciones clave	Herramienta amigable, rápida, multiedad; cubrir peatón y normas de seguridad (teléfono, cinturón); notificaciones.	Diseño centrado en el usuario con personalización por licencia y progreso.

Las entrevistas confirman que la enseñanza actual logra buenos resultados en la práctica de conducción, pero presenta brechas en la personalización, el uso sostenido de simuladores y la transferencia teórico–práctica, agravadas por contextos urbanos con señalización insuficiente. Se demanda un entorno virtual/VR con escenarios realistas, retroalimentación inmediata paso a paso y sistema de puntaje para seguimiento, además de personalización por tipo de licencia y notificaciones que mantengan el compromiso. Integrado como práctica complementaria (idealmente con validación de horas) y con el docente como guía–evaluador, este entorno permitiría estandarizar la instrucción, repetir situaciones críticas con seguridad y mejorar la retención, impactando positivamente en la seguridad vial y en la eficiencia del proceso formativo del sindicato.

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

- ***Resultados de la encuesta***

El aprendizaje de las señales de tránsito suele apoyarse en materiales tradicionales como apuntes impresos, clases expositivas y bancos de preguntas. A esto se suman prácticas puntuales que no siempre reflejan situaciones reales de circulación. Muchos estudiantes dicen haber escuchado sobre entornos virtuales e incluso haberlos utilizado con fines formativos. Aun así, estas experiencias no han sido pensadas específicamente para la preparación vial dentro del contexto del Sindicato, ni están alineadas con su malla curricular ni con las evaluaciones que enfrentan.

Esta distancia entre lo que hay disponible y lo que realmente se necesita complica que los estudiantes reconozcan visualmente las señales y lo apliquen con seguridad en la práctica. En los entrenamientos actuales, hace falta un espacio seguro donde equivocarse no tenga consecuencias reales. Además, la retroalimentación llega tarde o no sigue un mismo criterio, lo que alarga el proceso de aprendizaje y deja a muchos con inseguridad al momento del examen práctico.

Las encuestas muestran que hay buena aceptación hacia la idea de usar un entorno virtual. Los estudiantes lo ven como una herramienta útil por ofrecer práctica sin riesgo, con dinamismo y opciones interactivas. Coinciden en que este tipo de

entrenamiento aumentaría su seguridad antes del examen y les ayudaría a recordar y diferenciar señales preventivas, reglamentarias e informativas.

Para que de verdad influya en su desempeño, el simulador tiene que mostrar escenarios creíbles: señales con proporciones reales, distancias de visibilidad adecuadas, obstáculos como árboles, postes o autos, y combinaciones de señalización comunes en su zona. También resaltan que el simulador debe complementar, no reemplazar, la guía del docente. Prefieren una introducción breve, retroalimentación clara durante la práctica y avanzar por medio de pequeños retos que les permitan notar su progreso.

Todo esto apunta a la necesidad de centralizar y estandarizar la práctica. Se sugiere un módulo inicial para nivelar a quienes nunca han usado un simulador, caminos distintos según el nivel del usuario (novato o con experiencia), y un sistema de retroalimentación inmediata que explique los errores y dé oportunidad de corregirlos con guía.

Para lograr que los aprendizajes se trasladen a la vida real, conviene construir "escenarios ancla" basados en puntos conflictivos reales del entorno del Sindicato, y vincular el uso del simulador con las sesiones presenciales: trabajo previo en línea, revisión en el aula o taller, y cierre con rúbricas claras. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que un entorno virtual bien diseñado puede ser una solución efectiva para fortalecer la formación vial: reduce riesgos, mejora la seguridad del estudiante y eleva la calidad del aprendizaje al centrarse en una práctica auténtica.

- ***Resultados de la entrevista***

Las entrevistas realizadas en el Sindicato muestran que la enseñanza actual de las señales de tránsito combina clases teóricas a través de módulos, folletos y material en computadora, con prácticas de conducción guiadas por el instructor. Esta combinación entre teoría y práctica ayuda al estudiante a asociar las señales con las maniobras al volante, algo que fue valorado positivamente por quienes participaron en el estudio.

Aun así, también se detectaron limitaciones importantes. Por ejemplo, los contenidos no se ajustan mucho al tipo de licencia o al nivel de experiencia de cada estudiante, y el acceso a tecnologías más avanzadas como simuladores es escaso o inestable. Esto

limita la profundidad del entrenamiento y hace que la experiencia varíe mucho entre estudiantes con diferentes edades o estilos de aprendizaje.

Las entrevistas confirman que los módulos virtuales y algunos apoyos tecnológicos básicos son frecuentes. Estos se complementan con la práctica de conducción, donde el instructor va presentando y reforzando la señalética en el trayecto. Lo práctico funciona porque pone al estudiante en situaciones reales que exigen respuestas rápidas. Sin embargo, también se mencionó que la parte teórica suele quedar en segundo plano, ya que muchos prefieren "acumular horas de práctica" aunque no tengan del todo claros los conceptos. Además, hay estudiantes que enfrentan temores iniciales al tráfico o muestran distintos niveles de madurez, lo que hace necesario un ritmo de enseñanza más flexible, tanto en lo pedagógico como en lo andragógico, algo que hoy no siempre se logra cubrir bien.

Un punto que se repite es que el entorno urbano influye en el aprendizaje. En ciudades como Ambato, donde la señalización es insuficiente o confusa, los estudiantes tienen menos oportunidades de observar buenos ejemplos en la vía pública. Esto complica la correcta lectura de señales y la adopción de hábitos de seguridad como el uso del cinturón, evitar el celular al conducir o estar atentos a los peatones. Varios entrevistados ven en un entorno virtual bien diseñado una opción para compensar esas carencias, ya que permite crear escenarios claros, controlados y que pueden repetirse las veces que sea necesario.

Sobre el uso de tecnología y simuladores, se reconoce que ha habido intentos previos de implementar herramientas virtuales, pero no existe todavía un programa estable que abarque bien los contenidos ni que acompañe todo el proceso formativo. Los participantes ven con buenos ojos la posibilidad de contar con un simulador 3D o un entorno virtual inmersivo que represente con fidelidad la ciudad, la carretera, los semáforos, pasos peatonales, intersecciones y señales preventivas, reglamentarias e informativas, tanto en forma como en luminosidad. Esperan que este realismo ayude a mejorar la identificación de señales, a anticipar riesgos y a tomar decisiones más seguras.

En cuanto al desempeño de los estudiantes, se reportaron errores frecuentes en el reconocimiento de colores, formas y categorías de señales, así como dificultades en

situaciones dinámicas, como decidir quién tiene la prioridad o cómo interpretar los semáforos en tráfico pesado. También se comentó que la motivación personal y el compromiso influyen mucho. Algunos solo buscan cumplir con las horas requeridas sin enfocarse en entender, y presentan ansiedad al momento de aplicar lo aprendido en el examen o en la conducción real. Esto refuerza la necesidad de contar con retroalimentación clara y a tiempo, que ayude a corregir errores y fomente hábitos seguros.

Las entrevistas permitieron identificar varios elementos clave para que el entorno virtual sea realmente útil. Se destaca la importancia de una retroalimentación inmediata, detallada paso a paso ante errores graves (como pasarse un semáforo en rojo), y un sistema de puntuación que muestre el progreso y lo que falta por mejorar. También se sugiere personalizar los contenidos según el tipo de licencia y el avance individual, para evitar temarios genéricos que no siempre responden a lo que necesita cada usuario. Los escenarios deben ser realistas, con señales visibles, pero sin saturar al estudiante con demasiada información. Se proponen notificaciones sobre próximas prácticas, cambios o recordatorios, que ayuden a organizar el tiempo y mantener la constancia.

Se plantea que el rol del docente sea más bien el de un guía y evaluador, usando el simulador como un apoyo adicional y, cuando sea posible, como parte del proceso de validación de las horas prácticas. También se espera que la herramienta sea fácil de usar, accesible para diferentes edades y con una interfaz clara. Se propone incluir contenidos relacionados con la seguridad vial integral, como el uso del cinturón, la prohibición del celular al conducir o el respeto al peatón, buscando ir más allá de la simple memorización de señales y fomentando una conducción más consciente y responsable.

Los entrevistados ven tanto ventajas como posibles dificultades. Entre los beneficios mencionan la reducción de riesgos y costos en la etapa inicial de aprendizaje, una experiencia más uniforme entre estudiantes y una mejor retención del contenido gracias a la posibilidad de repetir situaciones. Se señala que algunos podrían resistirse si prefieren solo la práctica en la vida real, y se advierte que el simulador debe ser un complemento, no un reemplazo, de la experiencia directa en la calle.

Los resultados sugieren que una aplicación virtual personalizada, multiplataforma y con retroalimentación formativa puede tener un impacto muy positivo en la modernización y eficiencia del aprendizaje de señales de tránsito dentro del Sindicato, sobre todo en contextos donde la señalización en la ciudad no garantiza por sí sola una formación adecuada.

En la Figura 13 destacan términos como “virtual”, “señalética”, “simulación”, “aplicación”, “información” y “estudiantes”, lo cual refuerza el enfoque hacia un entorno tecnológico como solución principal. Se concluye que una aplicación móvil, personalizada y disponible en múltiples plataformas, con escenarios realistas, retroalimentación inmediata y notificaciones en tiempo real, podría mejorar notablemente tanto el proceso de aprendizaje como la gestión académica dentro del Sindicato.



Figura 13. Nube de palabras de las entrevistas

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta y analiza los resultados más relevantes obtenidos tras la creación y puesta en marcha de un entorno virtual de simulación, diseñado para apoyar el aprendizaje de la señalética de tránsito en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Se incluyen los datos recopilados a partir de las pruebas de conocimientos aplicadas antes y después del uso del simulador (pretest y postest), diferenciando entre los grupos de control y experimental. También se comparten los principales resultados estadísticos y los hallazgos obtenidos a través de la encuesta de percepción aplicada a los estudiantes. Se discuten estos resultados a partir del marco teórico y los objetivos planteados, con el propósito de evaluar el impacto real del entorno virtual en el aprendizaje de la señalética y su utilidad como herramienta de apoyo en la formación vial.

3.1 Identificación de requerimientos técnicos

Definir los requerimientos técnicos fue un paso clave en la creación del entorno virtual, ya que permitió establecer las condiciones mínimas necesarias para garantizar su buen funcionamiento, estabilidad y capacidad de crecimiento. En esta sección se presentan los requisitos tanto de hardware como de software que deben cumplir los equipos utilizados por los estudiantes en los laboratorios. Se detallan las especificaciones necesarias para el servidor institucional y los parámetros básicos de red que exige la infraestructura tecnológica del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba.

3.1.1 Requerimientos del usuario final (equipos cliente)

Dado que los estudiantes accederán al simulador desde las computadoras de los laboratorios del sindicato, es indispensable definir las características mínimas que estos equipos deben tener para garantizar una experiencia fluida y sin interrupciones al utilizar el entorno virtual.

Para el establecimiento de los requerimientos mínimos de los equipos cliente se revisó la documentación oficial del motor Godot 4 y las recomendaciones de uso para

aplicaciones 3D de complejidad media, así como las guías de Microsoft para la ejecución de software educativo sobre Windows 10. En dichas fuentes se sugirió, como base, el uso de procesadores multinúcleo, un mínimo de 8 GB de memoria RAM y compatibilidad con APIs gráficas modernas para garantizar una tasa de cuadros estable y una experiencia de uso fluida. A partir de estas recomendaciones se definieron los parámetros que se consolidaron en la Tabla 16, ajustándolos a la realidad de los laboratorios del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba y evitando requerimientos que implicaran inversiones de alto costo innecesarias.

Tabla 16. Requerimientos mínimos de hardware del usuario final

Componente	**Especificación mínima recomendada**	**Observaciones**
Procesador (CPU)	4 núcleos, 2.5 GHz o superior (ej. Intel i5 / Ryzen 5)	Permite ejecutar el simulador y procesos en segundo plano.
Memoria RAM	8 GB (recomendado 16 GB)	8 GB es suficiente; 16 GB mejora la multitarea en laboratorio.
Almacenamiento	256 GB HDD/SSD (mín. 10 GB libres para el simulador)	Se recomienda SSD para reducir tiempos de carga.
Tarjeta gráfica (GPU)	Integrada compatible con OpenGL 3.3 o dedicada básica 2 GB	No se requiere tarjeta "gamer", pero sí soporte 3D estable.
Monitor	Resolución 1366×768 (recomendado Full HD 1920×1080)	Favorece la lectura del HUD y de los textos del simulador.
Periféricos	Teclado y mouse estándar	No se emplean cascos VR ni mandos especializados.
Sistema operativo	Windows 10 o superior	Plataforma estandarizada en los laboratorios del sindicato.

Bajo estas especificaciones, el entorno virtual desarrollado en Godot 4 puede ejecutarse en condiciones estables, con un nivel de rendimiento ideal para la práctica

y evaluación de la señalética de tránsito, sin requerir inversión en hardware de un costo elevado.

3.1.2 Requerimientos de software del usuario final

Para especificar los componentes de software en los equipos del usuario final se tomó como referencia la documentación oficial de Windows 10 y las notas técnicas del propio motor Godot 4 sobre sistemas operativos soportados y librerías necesarias para la correcta ejecución del entorno virtual. Estas fuentes indicaron la conveniencia de trabajar con versiones actualizadas del sistema operativo y de los controladores gráficos, así como de distribuir el simulador como un ejecutable independiente. Con base en ello se definieron los elementos descritos en la Tabla 17, procurando que la instalación y mantenimiento del cliente fueran lo más simples posible para el personal técnico de la institución.

Tabla 17. Requerimientos de software en el equipo del usuario final

Componente / Herramienta	**Versión / Tipo sugerido**	**Función principal**
Sistema operativo	Windows 10 o superior	Plataforma base para la ejecución del simulador.
Ejecutable del simulador	Versión estable del entorno	Cliente de simulación 3D desarrollado en Godot 4.
Navegador web (opcional)	Chrome / Edge actualizados	Acceso a reportes y materiales de apoyo si se integran vía web.
Librerías gráficas	Drivers actualizados de GPU	Aseguran compatibilidad con OpenGL y rendimiento gráfico.

Estos requisitos son compatibles con la infraestructura habitual de laboratorios académicos y no exigen instalaciones complejas adicionalmente al ejecutable del simulador.

3.1.3 Requerimientos del servidor de aplicaciones y base de datos

El entorno virtual registra resultados de las prácticas en una base de datos institucional. Para ello se requiere un servidor que aloje la API REST y el gestor de base de datos MySQL, con las siguientes características mínimas:

Tabla 18. Requerimientos del servidor de aplicaciones y base de datos

Componente	**Especificación mínima recomendada**	**Observaciones**
Procesador (CPU)	4–8 núcleos, 3.0 GHz o superior	Permite atender múltiples solicitudes simultáneas.
Memoria RAM	16 GB	Soporta MySQL, servidor web y servicios adicionales.
Almacenamiento	512 GB SSD	Almacenamiento para BD, logs y respaldos locales.
Tarjeta de red	Gigabit Ethernet (1 Gbps)	Compatible con LAN institucional ≥ 100 Mbps.
Sistema operativo	Linux Server / Windows Server (según políticas institucionales)	Debe permitir instalación de PHP, MySQL y servidor web.
Copias de seguridad	Unidad externa / almacenamiento en red	Para respaldos periódicos de la base de datos.

Estos requerimientos garantizan que el servidor pueda manejar las conexiones concurrentes de las estaciones de trabajo, realizar consultas y registros de manera eficiente y mantener la integridad de los datos generados por los estudiantes.

3.1.4 Requerimientos de red e infraestructura

Para asegurar la correcta comunicación entre los equipos cliente y el servidor institucional, se definen los siguientes requerimientos de red:

Tabla 19. Requerimientos de red para la operación del simulador

Elemento	Especificación / Requisito	Observaciones
Tipo de red	LAN institucional	Conexión cableada recomendada en laboratorios.
Velocidad mínima	≥ 100 Mbps	Suficiente para tráfico de API REST y consultas a la BD.
Topología	Servidor central + estaciones de trabajo	Permite centralizar resultados y supervisión docente.
Seguridad	Segmentación de red / firewall	Restringir acceso externo a la BD y servicios internos.
Respaldo eléctrico	UPS en servidor	Evitar pérdidas de datos ante cortes de energía.

En caso de falla temporal de la red, el simulador puede operar en modo local (solo práctica), sincronizando los datos cuando se restablezca la conexión, de acuerdo con la arquitectura definida en la ERS.

3.1.5 Relación con la Especificación de Requisitos de Software (ERS)

Los requerimientos técnicos presentados en esta sección se complementan con la Especificación de Requisitos de Software (ERS), incluida en el Anexo C. Este documento, elaborado bajo el estándar ANSI/IEEE 830-1998, abarca:

- La definición del alcance, actores y contexto operativo del sistema.
- El catálogo de requerimientos funcionales y no funcionales asociados al entorno virtual.
- La priorización de los requisitos mediante la técnica MoSCoW.
- La matriz de trazabilidad que vincula RF/RNF con los objetivos del proyecto y los criterios de prueba.

Al establecer de manera concreta los requerimientos técnicos en términos de hardware, software, servidor y red necesarios para que el entorno virtual funcione adecuadamente

en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. El Anexo C, profundiza en los aspectos formales de los requisitos de software.

3.2 Investigación de herramientas tecnológicas apropiadas para entornos virtuales

Para definir las tecnologías que conformarían el entorno virtual enfocado en la enseñanza de señalética vial, fue necesario explorar y comparar diversas herramientas tanto del mercado como del entorno institucional. Esta búsqueda tuvo como objetivo asegurar que el simulador fuera técnicamente viable y, al mismo tiempo, representara un verdadero apoyo pedagógico en la formación de conductores profesionales del Sindicato de Choferes de Izamba.

Como primer paso, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre entornos virtuales de aprendizaje y simuladores de tránsito. En este proceso se identificaron motores gráficos, gestores de bases de datos y tecnologías de servidor empleadas con fines educativos. Además, se tomaron en cuenta las condiciones reales de la institución, como la disponibilidad de servidores universitarios, el uso previo de bases de datos MySQL y la necesidad de trabajar con equipos de gama media.

Con base en los requerimientos funcionales y no funcionales definidos según el estándar IEEE 830-1998, se establecieron criterios para evaluar las herramientas candidatas. Entre los aspectos considerados estuvieron el rendimiento, facilidad de mantenimiento, integración con servicios web, usabilidad, costos de licencias y compatibilidad con realidad virtual, guiándose también por las recomendaciones de la norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018 y los atributos de calidad de ISO/IEC 25010. A partir de esto, se aplicó un modelo de evaluación multicriterio que permitió hacer una comparación estructurada entre diferentes motores de desarrollo 3D, gestores de bases de datos y tecnologías de servidor.

En los apartados siguientes se muestran las tablas comparativas y el análisis que respaldan la elección final de Godot como motor de simulación 3D, MySQL como gestor de base de datos institucional, y servicios REST desarrollados en PHP para la comunicación entre cliente y servidor.

3.2.1 Metodologías de Desarrollo

Se requiere una metodología que ordene el trabajo desde la planificación hasta la evaluación, facilite el seguimiento y promueva entregas iterativas. En proyectos educativos con componentes de simulación, las metodologías ágiles ayudan a inspeccionar y adaptar con base en pruebas con usuarios (docentes y estudiantes del sindicato).

En la tabla 20 se presenta una matriz comparativa de metodologías ágiles (Scrum, SUM y Extreme Programming – XP) aplicada al contexto de este proyecto.

Tabla 20. Comparación de metodologías de desarrollo

Características	**SCRUM**	**SUM**	**XP (Extreme Programming)**
Metodología de desarrollo	Iterativa e incremental	Iterativa e incremental (adaptada a "game dev")	Iterativa e incremental
Enfoque	Colaboración y respuesta a cambios	Ciclos cortos, roles ligeros y entregas jugables	Mejora continua de código y pruebas
Principios	Transparencia, inspección, adaptación	Mezcla práctica de Scrum + prácticas de game dev	Comunicación, simplicidad, feedback
Tamaño de equipo	5–9 ideal	Pequeños y multidisciplinarios	Pequeños, cercanos al usuario

Tamaño de proyecto	Cualquier tamaño	Pequeño–mediano con prototipos jugables	Pequeño–mediano
Ventajas	Alineación con stakeholders	Muy pragmática para prototipos jugables y pruebas con usuarios	Código de alta calidad, refactors constantes
Simplicidad	Clara, pero exige disciplina de roles	Ligera, baja burocracia	Requiere disciplina técnica
Planificación	Sprints y revisiones	Entregas breves "jugables" + test con usuarios	Iteraciones con feedback continuo

Se resume una valoración cualitativa de cada enfoque en función de cinco criterios definidos según las necesidades del entorno virtual educativo:

- Carácter iterativo e incremental.
- Facilidad de implementación en un entorno educativo.
- Relevancia para proyectos de simulación o mundos virtuales.
- Simplicidad en cuanto a roles y artefactos (baja burocracia).
- Flexibilidad ante cambios de contenido y escenarios.

Para cada criterio se asignó un puntaje en una escala ordinal de 1 a 3, donde 1 representa un bajo nivel de cumplimiento, 2 un cumplimiento medio y 3 un alto cumplimiento del criterio evaluado. Estos valores se basan en la revisión de la literatura sobre cada metodología y en su grado de adecuación a las características del proyecto.

La sumatoria final de los puntajes permite identificar qué metodología se ajusta mejor a las exigencias del desarrollo de un entorno virtual de simulación para la enseñanza de la señalética de tránsito y todo esto se visualiza en la Tabla 21.

Tabla 21. Matriz de selección de metodología

Criterios de evaluación	**SCRUM**	**SUM**	**XP**
Iterativa e incremental	3	3	3
Facilidad de implementación en entorno educativo	2	3	2
Relevancia para proyecto de simulación/mundo virtual	2	3	2
Simplicidad (baja burocracia)	2	3	2
Flexibilidad ante cambios de contenido/escenarios	2	3	2
Sumatoria	**11**	**15**	**11**

Metodología de desarrollo seleccionada: SUM

Se seleccionó la metodología SUM porque, según la matriz de valoración, obtuvo la mayor puntuación global, mostrando un mejor ajuste a las necesidades específicas del proyecto. A diferencia de Scrum, que exige una estructura más formal de roles, eventos y artefactos que puede resultar pesada en un entorno educativo con equipos pequeños y tiempos limitados, SUM mantiene el carácter iterativo e incremental, pero con una carga administrativa mucho más ligera y centrada en producir prototipos jugables en ciclos cortos. Frente a XP, cuya fortaleza se orienta principalmente a la calidad del

código y a prácticas de ingeniería de software avanzadas, SUM resultó más pertinente para un entorno donde participan docentes y estudiantes, y donde la prioridad es validar mecánicas de simulación, reglas de señalética y experiencia de usuario más que aplicar un conjunto estricto de prácticas técnicas. En conjunto, estos elementos justificaron la elección de SUM como la metodología más adecuada para guiar el desarrollo del entorno virtual de aprendizaje de señaléticas de tránsito.

El modelo SUM facilita la creación de versiones jugables de manera ágil, lo que permite ponerlas a prueba con los estudiantes del sindicato, hacer ajustes en señalética, reglas y puntuaciones, y mantener un ciclo constante de diseño, prueba y mejora, muy en sintonía con la dinámica propia del desarrollo de mundos virtuales.

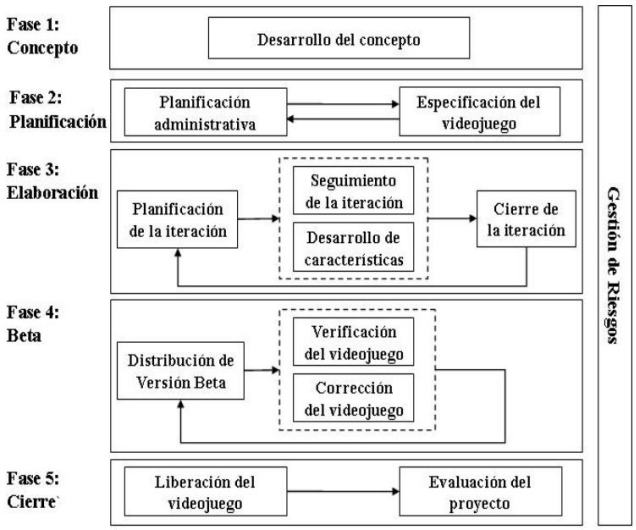


Figura 14. Fases del proceso SUM

La Figura 14 presenta las fases del proceso SUM para el desarrollo del videojuego educativo. La metodología se organiza en cinco etapas: Concepto, donde se define y documenta la idea general del producto; Planificación, que articula la planificación administrativa con la especificación del videojuego; Elaboración, en la que se planifican las iteraciones, se desarrollan las características y se realiza su seguimiento hasta el cierre de cada ciclo; Beta, que comprende la distribución de una versión preliminar, su verificación y la corrección de errores; y Cierre, en la que se libera la versión final y se evalúa el proyecto. De forma transversal, se incorpora la gestión de

riesgos, que acompaña todas las fases para anticipar y mitigar posibles problemas durante el desarrollo.

La arquitectura Simulation User Model (SUM) sirvió como base estructural para desarrollar el entorno virtual destinado a la enseñanza de las señales de tránsito. Este modelo integra tres elementos clave: el entorno de simulación, la interacción del usuario y el sistema de medición del aprendizaje. Estos componentes trabajan juntos para recrear situaciones viales de forma realista, registrar cómo responde el estudiante ante diversos estímulos y dar seguimiento a su progreso dentro del entorno virtual.

El modelo SUM se adaptó como una solución versátil con un enfoque educativo, que combina gráficos 3D, retroalimentación en tiempo real y análisis de desempeño. Su implementación busca representar escenarios habituales del tránsito como cruces, pasos peatonales y semáforos donde el usuario debe interpretar correctamente las señales para continuar. Se evalúa no solo el conocimiento teórico, sino también la capacidad de actuar correctamente ante situaciones simuladas, reforzando habilidades prácticas y la toma de decisiones bajo ciertas condiciones.

Esta elección metodológica responde a la intención de ofrecer una herramienta accesible, interactiva y alineada con las necesidades pedagógicas de los estudiantes del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Gracias a la estructura del modelo, el entorno virtual registra datos como tiempos de reacción, aciertos, errores y puntuaciones, construyendo una base sólida para evaluar el nivel de aprendizaje alcanzado. La combinación de tecnología, contenido educativo y mecanismos de evaluación hace del SUM una opción idónea para enseñar señalética vial mediante experiencias inmersivas que conectan directamente con la práctica real.

3.2.2 Dispositivos de interacción

Como el proyecto no contempla el uso de cascos de realidad virtual ni periféricos costosos, se optó por dispositivos accesibles, confiables y disponibles en los laboratorios del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. En este caso el teclado y el mouse fueron definidos como las principales herramientas para que los usuarios interactúen con el entorno virtual.

La elección se basó en criterios de accesibilidad y sostenibilidad, ya que no implica gastos adicionales en equipamiento ni requiere configuraciones complejas. Ambos dispositivos están presentes en todos los equipos del sindicato, lo cual permite implementarlos de forma inmediata y uniforme para todos los estudiantes. Además, su uso habitual reduce la curva de aprendizaje, facilitando que los usuarios se adapten al simulador sin necesidad de capacitaciones previas.

El teclado y el mouse ofrecen un nivel de control adecuado para las actividades que se buscan desarrollar, centradas en observar, identificar y responder ante las señales de tránsito dentro del entorno virtual. Aunque no replican la experiencia de conducción real, son suficientes para alcanzar los objetivos educativos del proyecto, que apuntan al reconocimiento visual de señales, la toma de decisiones en tiempo real y una retroalimentación efectiva.

Esta decisión también favorece la estabilidad operativa del sistema y asegura condiciones equitativas para todos los participantes durante las sesiones prácticas, manteniendo la funcionalidad del simulador sin comprometer la calidad de la experiencia de aprendizaje.

3.2.3 Motor del desarrollo del mundo virtual

Para elegir la herramienta más adecuada en la creación del entorno virtual educativo, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los principales motores disponibles actualmente para el desarrollo de videojuegos y simulaciones interactivas. El enfoque estuvo puesto en encontrar una opción que se integrara bien con los recursos tecnológicos ya existentes, que facilitara un desarrollo ágil de prototipos y que funcionara sin problemas en los equipos disponibles en el Sindicato de Choferes de Izamba.

La herramienta seleccionada se integró adecuadamente con la infraestructura tecnológica existente, facilitó el desarrollo iterativo de prototipos y funcionó sin inconvenientes en las computadoras de gama media utilizadas en la institución. La evaluación tomó en cuenta criterios tanto técnicos como pedagógicos y operativos; entre ellos se consideraron la facilidad de uso del motor, su compatibilidad con bases

de datos a través de servicios REST, el rendimiento en computadoras de gama media, los costos de licenciamiento y la posibilidad de mantenimiento por parte de equipos técnicos pequeños.

En la Tabla 22, se comparan tres motores de desarrollo (Godot 4, Unity y Unreal Engine) en función de su pertinencia para el proyecto del entorno virtual de señalética.

Tabla 22. Comparación de motores

Características	**Godot 4**	**Unity**	**Unreal**
Licencia/costo	Open Source (MIT)	Gratis + planes	Gratis + royalties
Lenguaje/práctica	GDScript/C# opcional	C#	C++/Blueprints
Curva de aprendizaje	Rápida (GDScript)	Moderada	Mayor
Rendimiento de PC gama media	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno (exige +)
Integración con MYSQL	Sencilla (HTTPRequest)	Sencilla	Sencilla
Comunidad/docs	Creciente	Muy amplia	Muy amplia
Exportación	Desktop/web	Amplia	Amplia

La evaluación se realizó considerando cinco criterios clave:

- Facilidad de uso para el prototipado rápido de escenas y mecánicas.
- Posibilidad de integración con MySQL a través de una API REST.
- Costo y tipo de licencia.
- Rendimiento esperado en los equipos disponibles en el Sindicato de Choferes.
- Mantenibilidad del proyecto por un equipo pequeño de desarrollo.

Para cada criterio se asignó un puntaje en una escala de 1 a 3, donde 1 indica bajo cumplimiento del criterio, 2 un cumplimiento medio y 3 un alto nivel de adecuación, visto en la Tabla 23. Estos valores se basan en la revisión de documentación técnica

de cada motor y en la experiencia reportada en proyectos educativos y de simulación similares. La sumatoria final de los puntajes muestra que Godot 4 alcanza la mayor valoración global, lo que respalda su selección como motor principal para el desarrollo del entorno virtual propuesto.

Tabla 23. Matriz de selección de motor

Criterios de evaluación	**Godot 4**	**Unity**	**Unreal**
Facilidad de uso para prototipado	3	2	2
Integración con MySQL vía API REST	3	3	3
Costo/licencia	3	2	2
Rendimiento en PC del sindicato	3	3	2
Mantenibilidad por equipo pequeño	3	2	2
Sumatoria	**15**	**12**	**11**

Motor seleccionado: Godot 4.

Se optó por utilizar Godot 4 como motor de desarrollo del entorno virtual. Entre los factores que influyeron en esta decisión están su naturaleza de código abierto, la facilidad de aprendizaje que ofrece gracias al lenguaje GDScript, su capacidad para exportar proyectos a PC sin complicaciones y su integración fluida con servicios REST desarrollados en PHP y bases de datos MySQL. Esto facilita el registro de intentos, aciertos, errores y puntajes de los usuarios dentro del simulador.

3.2.4 Almacenamiento y capa de datos

Tomando en cuenta la infraestructura disponible en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba y la necesidad de contar con un sistema de información estable y compatible con el entorno de desarrollo del proyecto, se eligió MySQL como sistema de gestión de base de datos.

Esta decisión responde a la necesidad institucional de disponer de una plataforma confiable para almacenar y consultar información académica. MySQL se integra de forma natural con los servicios web desarrollados en PHP bajo arquitectura REST, lo que simplifica su implementación local y también deja abierta la posibilidad de escalar el sistema más adelante.

Este gestor permite manejar de manera eficiente los datos generados por el simulador, como registros de usuarios, resultados de prácticas, señales visualizadas, errores cometidos, puntajes obtenidos y tiempos de reacción. Su uso refuerza la trazabilidad del proceso de aprendizaje, facilita el análisis de desempeño y permite mantener la continuidad del sistema, en línea con los objetivos de modernización del proceso formativo del sindicato.

3.2.5 Arquitectura lógica adoptada

- **Cliente (Godot 4):** Se encarga de representar el entorno urbano, gestionar las entradas del teclado y mostrar elementos como el puntaje, el tiempo y las faltas en pantalla.
- **API intermedia (PHP/REST):** Contiene endpoints autenticados para enviar y recibir información del sistema, incluyendo resultados, catálogos de señales, reglas de puntuación y eventos registrados.
- **Datos (MySQL):** Organiza la información en tablas como Usuarios, Sesiones, Intentos, Señales y Eventos (por ejemplo, omisión de señales, exceso de velocidad en la simulación, paso por luz roja, entre otros).

3.2.6 Metodología de enseñanza

Para asegurar que el entorno virtual tenga un enfoque pedagógico sólido y cumpla con su propósito educativo, se revisaron distintas metodologías de enseñanza aplicables a contextos interactivos y de simulación. La intención fue identificar cuál de ellas promueve mejor la participación activa del estudiante, proporciona retroalimentación inmediata y facilita que los conocimientos teóricos se apliquen de manera práctica.

En el análisis se tomaron en cuenta enfoques reconocidos como el Aprendizaje Basado en Juegos (Game-Based Learning), el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL), el Aprendizaje Experiencial y el Aprendizaje Basado en Errores. Cada uno fue evaluado considerando su aplicabilidad, facilidad de implementación y grado de adaptación al contexto del simulador educativo.

La Tabla 24 muestra la matriz comparativa utilizada para analizar distintos enfoques pedagógicos aplicables al entorno virtual de señalética. Se evaluaron cuatro modelos: Aprendizaje Basado en Juegos (GBL), Aprendizaje Basado en Problemas (PBL), Aprendizaje Experiencial y Aprendizaje Basado en Errores.

Tabla 24. Comparación de metodologías de enseñanza

Características	**Aprendizaje Basado en Juegos (GBL)**	**Aprendizaje Basado en Problemas (PBL)**	**Aprendizaje Experiencial**	**Basado en Errores**
Descripción	Mecánicas de juego para motivar	Resolver casos de tránsito	Practicar en escenarios realistas	Enseñar mediante corrección de errores
Enfoque	Motivación/retos	Pensamiento crítico	Hacer–reflexionar–ajustar	Detectar y corregir fallos

Beneficios	Engagement	Colaboración	Transferencia directa a desempeño	Conciencia de riesgo
Desafíos	Balance juego/objetivos	Diseño de buenos casos	Escenarios bien diseñados	Evitar frustración

La comparación se centró en tres criterios clave:

- Qué tan fácil resulta implementar cada enfoque en el contexto del Sindicato de Choferes,
- Qué tan alineado está con los objetivos del proyecto —especialmente en lo que respecta al entrenamiento en la interpretación y aplicación de señalética en situaciones similares a la vida real
- Qué tanta flexibilidad ofrece para adaptarse a distintos contenidos y escenarios dentro del simulador.

Cada enfoque recibió una calificación del 1 al 3 por criterio: 1 para un bajo nivel de ajuste, 2 para uno intermedio y 3 para una alta adecuación, se ve en la Tabla 25. Las puntuaciones se asignaron con base en la revisión teórica de cada modelo y su compatibilidad con las características del proyecto.

Al sumar los resultados, el Aprendizaje Experiencial fue el que obtuvo la puntuación más alta, lo cual justifica su elección como base pedagógica principal para el desarrollo del entorno virtual. Los otros enfoques GBL, PBL y el Aprendizaje Basado en Errores también se consideran útiles y se utilizarán como apoyo para diseñar las distintas actividades dentro del simulador.

Tabla 25. Matriz de selección pedagógica

Criterios de evaluación	**GBL**	**PBL**	**Experiencial**	**Basado en errores**
Facilidad de implementación	2	2	**3**	2

Relevancia para el proyecto	2	2	**3**	2
Adaptabilidad a distintos contenidos	2	3	**3**	2
Sumatoria	6	7	**9**	6

Aplicación didáctica en el mundo virtual:

- **Escenarios guiados**: Incluyen calles, intersecciones, pasos peatonales y semáforos, todos adaptados a la señalética vial ecuatoriana.
- **Tareas activas**: El estudiante debe identificar señales como alto, ceda el paso, límites de velocidad y prohibiciones, y responder en consecuencia.
- **Retroalimentación inmediata:** A través del HUD se informa al usuario sobre errores y pérdida de puntos, además de que cada interacción se registra automáticamente en la base de datos MySQL.
- **Reflexión final:** Al terminar, se presenta un resumen con los aciertos y errores clasificados por tipo de señal, tiempos de reacción y sugerencias personalizadas para mejorar
- **Repetición con variaciones:** Las sesiones se pueden repetir en condiciones diferentes (día o noche, clima leve, tráfico simulado) para reforzar el aprendizaje.

3.3 Desarrollo del entorno virtual

La construcción del entorno virtual destinado a la enseñanza de la señalética de tránsito se basó en la metodología SUM, una arquitectura pensada específicamente para el diseño de experiencias educativas interactivas y de simulación. Este enfoque permitió desarrollar el simulador de forma organizada y progresiva, asegurando que las decisiones técnicas y pedagógicas se alinearon en cada etapa del proceso.

SUM resultó ser una metodología adecuada para este proyecto, ya que permite avanzar de forma iterativa en el diseño, desarrollo y evaluación del entorno, favoreciendo un

producto final funcional, realista y útil para la formación de futuros conductores en el Sindicato de Choferes de Izamba.

En las siguientes secciones se describen las cinco fases consideradas de la metodología SUM para este proyecto: en la **Fase 1** se realizó el análisis del contexto y la recopilación de requerimientos técnicos y pedagógicos; en la **Fase 2** se llevó a cabo el diseño instruccional y la definición de los escenarios y actividades del simulador; en la **Fase 3** se desarrolló el entorno virtual, modelando los espacios, incorporando la señalética y configurando las mecánicas de interacción; en la **Fase 4** se integró el sistema completo, se efectuaron pruebas técnicas y se ajustaron aspectos de rendimiento y usabilidad; finalmente, en la **Fase 5** se ejecutó la evaluación con usuarios, aplicando pruebas e instrumentos que permitieron validar el funcionamiento del simulador y su aporte al aprendizaje de la normativa y señalética de tránsito.

3.3.1 Fase 1: Concepto

- ***Identificación de la necesidad de un entorno virtual para el aprendizaje de señaléticas de tránsito***

Desde los primeros diagnósticos realizados con la comunidad educativa del sindicato, se evidenció la necesidad de contar con una herramienta que permitiera a los estudiantes practicar el reconocimiento y uso de señalética en un entorno seguro y controlado. Las clases teóricas o las prácticas en vía pública, por sí solas, no siempre permiten desarrollar plenamente las habilidades necesarias para una conducción segura y consciente.

El entorno virtual diseñado responde a esta necesidad al simular escenarios reales con señalización oficial: intersecciones, vías con giros, pasos peatonales, semáforos, entre otros. Los usuarios pueden aplicar lo aprendido, corregir errores en tiempo real y recibir puntuaciones que refuercen su aprendizaje. Además de motivar la participación, esta solución evita los riesgos asociados a las prácticas en campo, reduce costos logísticos, estandariza la evaluación y permite llevar un historial de progreso a través del registro automático de datos en MySQL.

Con todo esto, el simulador se posiciona como un complemento eficaz para las clases tradicionales, aportando al desarrollo de competencias técnicas y fortaleciendo la toma de decisiones bajo criterios de seguridad vial.

- ***Generación de ideas y diseño de la propuesta del entorno virtual.***

Se planteó una propuesta de entorno virtual que no solo represente situaciones de tránsito con precisión, sino que también ofrezca una experiencia educativa significativa. El diseño busca que los estudiantes interactúen directamente con las señales, se enfrenten a decisiones que imitan la realidad y reciban retroalimentación útil para mejorar su desempeño.

El sistema está pensado para reforzar la comprensión de la normativa de tránsito, desarrollar habilidades como la observación atenta, la reacción rápida y la toma de decisiones acertadas. Esto se logra combinando elementos de simulación, retroalimentación en tiempo real y análisis de datos, lo que convierte al entorno en una herramienta valiosa para mejorar la formación vial.

- ***Mockups del entorno virtual***

En esta etapa se elaboraron prototipos visuales (mockups) que representan la estructura y apariencia preliminar del entorno virtual diseñado en Godot 4. Estos modelos sirvieron para definir la disposición de los paneles, menús, indicadores y controles, simulando cómo el usuario interactuará con cada elemento durante la experiencia de aprendizaje.

Los mockups permitieron anticipar la organización de la interfaz y la navegación dentro del entorno, especialmente en lo referente a la lectura de señales de tránsito, la práctica guiada y la retroalimentación visual. Gracias a estas representaciones, fue posible ajustar la usabilidad y la coherencia visual antes del desarrollo completo, garantizando que la interfaz resultara intuitiva y funcional para el proceso de enseñanza de educación vial.

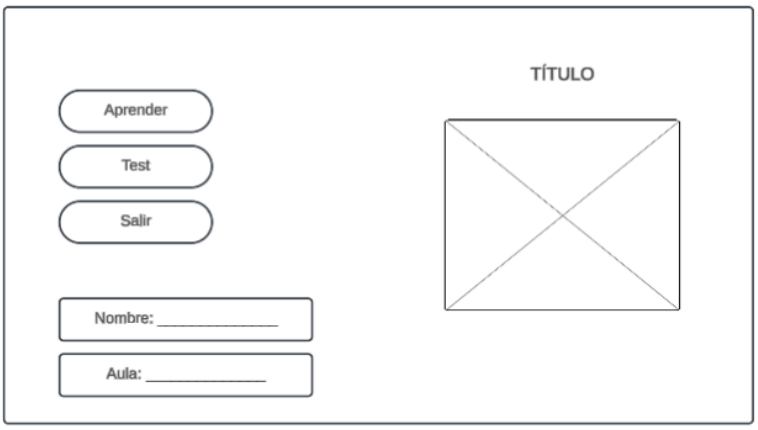


Figura 15. Diseño de la pantalla de inicio

La Figura 15 presenta el diseño a la pantalla de inicio del entorno virtual. En esta interfaz se muestran los botones principales que permiten al usuario seleccionar entre las opciones “Aprender”, “Test” o “Salir”, junto a el título de la aplicación, que identifica el entorno de aprendizaje.

Antes de ingresar al mundo virtual, el sistema solicita al usuario ingresar su nombre y paralelo, datos necesarios para el registro de su sesión y el seguimiento de su progreso dentro del entorno. Este diseño busca ofrecer una interfaz inicial clara y funcional, que facilite el acceso a las distintas modalidades de práctica y evaluación, garantizando al mismo tiempo la correcta identificación de cada participante.

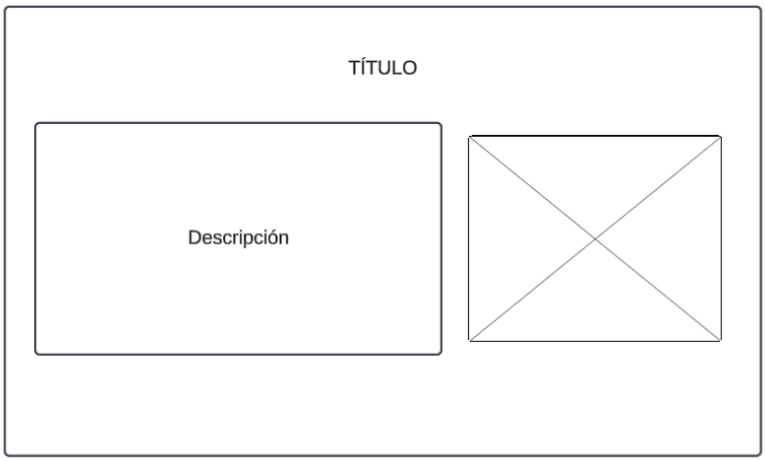


Figura 16. Diseño de pantalla de aprendizaje

La Figura 16 muestra el diseño de la pantalla de aprendizaje del entorno virtual. En esta interfaz se presenta el título del tema o señalética que el usuario está aprendiendo, acompañado de una breve descripción explicativa y una imagen representativa que facilita la comprensión visual del contenido. Este diseño permite que el usuario identifique de forma clara qué señal de tránsito está estudiando, entienda su significado y aplicación práctica, y relacione la información textual con la representación visual. La estructura de la pantalla busca mantener un equilibrio entre texto, imagen y navegación, asegurando una experiencia didáctica fluida dentro del entorno virtual de aprendizaje.

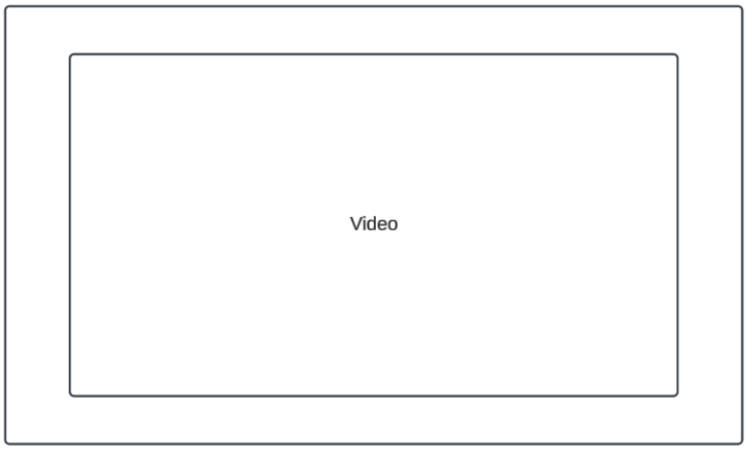


Figura 17. Diseño para ver videos de aprendizaje

La Figura 17 presenta el diseño destinado a la reproducción de videos educativos dentro del entorno virtual. Esta pantalla fue concebida para mostrar contenidos audiovisuales relacionados con las señaléticas de tránsito, permitiendo al usuario reforzar sus conocimientos mediante una experiencia más dinámica e ilustrativa.

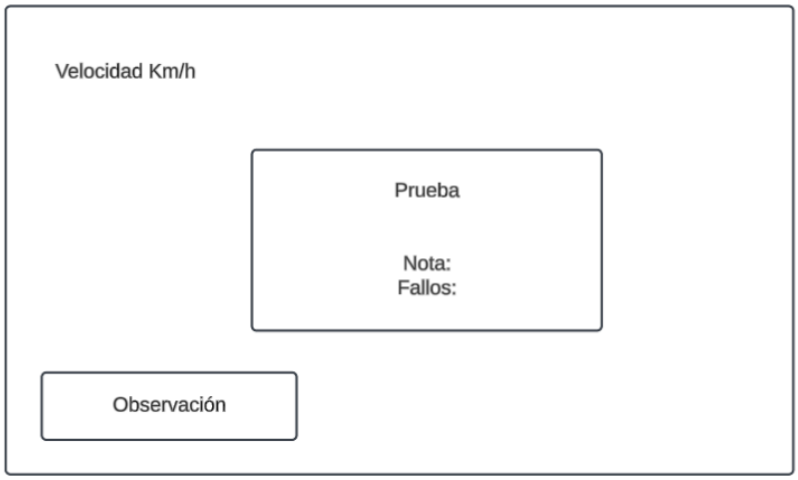


Figura 18. Diseño de pantalla de test

La Figura 18 muestra el diseño del mockup correspondiente a la pantalla de test dentro del entorno virtual. En esta interfaz se representa el momento en que el usuario participa en una prueba práctica de conducción simulada, en la cual debe aplicar los conocimientos adquiridos sobre señalética y normas de tránsito.

Durante la simulación, el panel principal incluye un indicador de velocidad del vehículo, ubicado en una posición visible que permite al usuario controlar su desplazamiento sin perder la concentración. En la parte inferior izquierda se encuentra un espacio de observaciones dinámicas, donde se notifican en tiempo real acciones relevantes como advertencias, errores o incumplimientos de las reglas viales.

Al concluir la actividad, el sistema presenta una pantalla de resultados que resume el desempeño del usuario. En ella se muestran la puntuación obtenida, los errores cometidos y los puntos restados por cada fallo, acompañados de una breve evaluación final. Este diseño busca ofrecer una retroalimentación inmediata y comprensible, permitiendo que el participante identifique sus aciertos y debilidades para reforzar su aprendizaje antes de volver a intentarlo.

3.3.2 Fase 2: Planificación

La planificación del proyecto se organizó en cinco etapas principales: Concepto, planificación, elaboración, beta y cierre. Cada una de ellas agrupa actividades

específicas orientadas al diseño, desarrollo y evaluación del entorno virtual de simulación para el aprendizaje de la señalética de tránsito en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. En la Tabla 26 se presenta el cronograma de trabajo propuesto, donde se detallan las fechas y las tareas realizadas en cada fase, desde la identificación de la necesidad formativa y la definición de la solución tecnológica, hasta la construcción del mundo virtual, su validación con estudiantes y la medición del impacto en el aprendizaje.

Tabla 26. Planificación de actividades para el desarrollo del entorno virtual de señalética de tránsito

Etapa	**Fechas**	**Actividades**
Concepto	02-09-2025 al 09-09-2025	Identificación de la necesidad de implementar un entorno virtual de simulación como herramienta complementaria para el aprendizaje de la señalética de tránsito en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Revisión de normativa de tránsito y antecedentes de uso de simuladores en educación vial.
	09-09-2025 al 16-09-2025	Diseño y elaboración de entrevistas y encuestas dirigidas a instructores de educación vial y responsables académicos del Sindicato.
	16-09-2025 al 23-09-2025	Aplicación de entrevistas a expertos en educación vial e instructores del Sindicato, para identificar requerimientos pedagógicos y técnicos del entorno virtual.
	23-09-2025 al 30-09-2025	Aplicación de encuestas a aspirantes a conductores para conocer su experiencia previa con simuladores, dificultades en el aprendizaje de la señalética y percepción sobre el uso de entornos virtuales.
	30-09-2025	Tabulación, procesamiento y análisis inicial de los datos recolectados, definiendo las principales necesidades y oportunidades de mejora en el proceso de enseñanza–aprendizaje de la señalética.

Planificación	01-10-2025 al 07-10-2025	Investigación de tecnologías para el desarrollo del entorno virtual (motor de juego, lenguaje de programación, servidor local y gestor de base de datos), considerando compatibilidad con el contexto del Sindicato.
	07-10-2025 al 14-10-2025	Documentación y selección del motor de desarrollo (por ejemplo, Godot) y de la arquitectura general del sistema, incluyendo la API REST y la base de datos para el registro de puntajes y avances de los estudiantes.
	14-10-2025 al 21-10-2025	Diseño pedagógico del entorno virtual: definición de escenarios urbanos, intersecciones y señales de tránsito a incluir, tipos de actividades, retroalimentación y sistema de puntuación.
	21-10-2025 al 24-10-2025	Elaboración del guion instruccional y del flujo de navegación dentro del entorno virtual (menús, selección de recorridos, ejecución de prácticas y visualización de resultados).
	24-10-2025 al 28-10-2025	Elaboración del plan de desarrollo detallado (tareas, responsables, entregables y tiempos), así como del plan de pruebas con estudiantes y docentes del Sindicato.
	28-10-2025	Ajustes finales de la planificación en función de la disponibilidad de recursos y del cronograma académico del Sindicato.
Elaboración	04-11-2025 al 11-11-2025	Modelado 3D de vías, intersecciones, vehículos y elementos del entorno urbano; diseño de la arquitectura interna del mundo virtual y configuración básica del proyecto en el motor de desarrollo seleccionado.
	11-11-2025	Desarrollo de interfaces de usuario (UI) para menús principales, selección de escenarios, panel de resultados y mensajes de retroalimentación al estudiante.

	18-11-2025 al 25-11-2025	Implementación de la lógica de simulación: control del vehículo, detección de señales de tránsito, registro de aciertos y errores, integración con la API REST y base de datos para almacenar puntajes e intentos.
	25-11-2025	Pruebas internas del entorno virtual para identificar errores de funcionamiento, problemas de rendimiento y aspectos de usabilidad; corrección de errores y optimización de recursos.
Beta	02-12-2025 al 09-12-2025	Preparación de una versión jugable del entorno virtual para un grupo piloto de estudiantes; aplicación de sesiones de práctica guiadas y observación del uso real del simulador en el contexto del Sindicato.
	09-12-2025 al 16-12-2025	Recopilación y revisión de comentarios de los usuarios, registro de incidencias y sugerencias de mejora; identificación de ajustes necesarios en diseño, navegación, retroalimentación y evaluación dentro del entorno.
Cierre	16-12-2025 al 20-12-2025	Aplicación formal de pretest y postest a los grupos de control y experimental utilizando el entorno virtual de señalética; aplicación de encuestas de percepción; tabulación, análisis estadístico de los resultados y redacción de conclusiones y recomendaciones finales de la investigación.

- ***Arquitectura y flujo del entorno virtual***

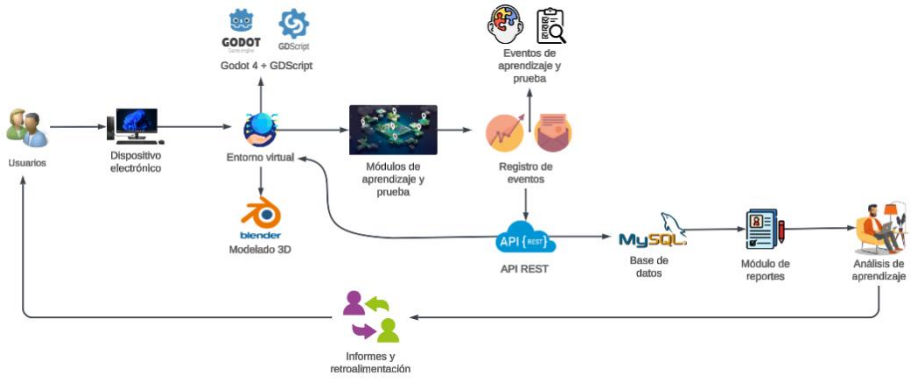


Figura 19. Arquitectura del entorno virtual

La Figura 19 está organizada bajo un esquema cliente–servidor, pensado para hacer funcionar el entorno virtual de aprendizaje sobre señalética de tránsito. Del lado del cliente están los usuarios, quienes se conectan desde una computadora portátil, de escritorio o desde algún equipo del laboratorio. Desde ahí acceden al entorno virtual, desarrollado en Godot 4 con GDScript, donde se ejecutan los módulos de aprendizaje y evaluación. En estos módulos, el estudiante recorre escenarios en 3D, observa las señales viales y realiza ejercicios prácticos y pruebas.

Mientras el usuario interactúa con el simulador, se registra de forma automática cada acción importante: los resultados, los errores, los tiempos de respuesta y el desempeño general se envían a un componente que lleva el registro de eventos. Este módulo funciona como un enlace entre el simulador y el servidor, utilizando un API REST para guardar y consultar la información. Con esto se logra separar la lógica del entorno virtual de la lógica de almacenamiento de datos, lo que facilita su mantenimiento y futuras mejoras.

En el servidor se encuentra tanto el API REST como la base de datos MySQL. Ahí se almacenan los eventos generados por los usuarios y los resultados de sus pruebas. La base de datos organiza la información por usuario, sesión, escenario y tipo de error, lo cual permite hacer consultas más precisas para análisis posteriores. A partir de esta información también opera el módulo de reportes, que se encarga de generar informes

detallados sobre el rendimiento de cada estudiante, así como estadísticas generales sobre el uso del simulador.

Los reportes sirven como base para una etapa de análisis del aprendizaje. Con ellos se puede identificar qué tan bien se comprende la señalética, detectar patrones de dificultad y saber qué señales necesitan mayor refuerzo. Estos análisis pueden ser consultados por docentes, instructores o investigadores, quienes los utilizan para tomar decisiones didácticas, ajustar los contenidos o diseñar nuevas estrategias. Finalmente, los reportes y la retroalimentación llegan de vuelta a los estudiantes: reciben comentarios sobre su desempeño y recomendaciones específicas, mientras que la institución obtiene evidencia clara del impacto del simulador en el proceso educativo.

Dentro de esta arquitectura se contempla el uso de Blender para el modelado 3D de los escenarios y elementos que forman parte del entorno virtual. Aunque esta parte forma parte del desarrollo (y no del uso directo por parte de los estudiantes), es clave para que los escenarios sean visualmente coherentes, representen fielmente la realidad y ayuden a que la experiencia de aprendizaje sea mucho más rica y efectiva.

3.3.3 Fase 3: Elaboración

- ***Diseño del diagrama de flujo introductorio***

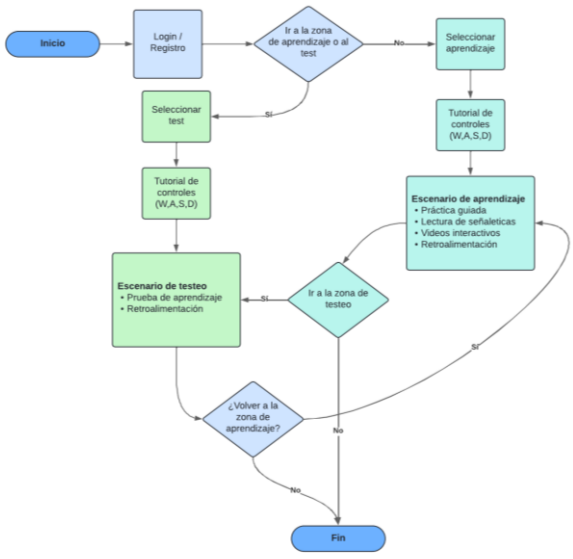


Figura 20. Diagrama del flujo tutorial introductorio

La figura 20 muestra el flujo lógico que sigue el usuario dentro del entorno virtual desarrollado en Godot 4, el cual combina fases de orientación, práctica y evaluación de conocimientos sobre señalética vial. El proceso inicia con el login o registro, donde se valida el acceso del participante. A continuación, el sistema permite seleccionar el modo de uso, diferenciando entre el modo de aprendizaje y el modo de testeo.

En ambas rutas, el usuario pasa primero por un tutorial de controles que introduce las funciones básicas del entorno, utilizando teclado y ratón como medios de interacción. Si se elige el modo de aprendizaje, el sistema carga un escenario guiado con actividades de lectura de señalética, práctica de interpretación y retroalimentación inmediata mediante mensajes visuales y auditivos. Posteriormente, el usuario puede decidir avanzar a la fase de evaluación o finalizar la sesión.

En el modo de test, el usuario accede a un entorno donde se presentan situaciones simuladas para evaluar su comprensión de las señales de tránsito. Una vez completada la prueba, el sistema ofrece retroalimentación y la opción de volver al escenario de aprendizaje para reforzar los contenidos antes de terminar.

Este flujo garantiza un proceso de aprendizaje progresivo y autoevaluativo, en el cual el participante puede repetir los módulos según su desempeño, fortaleciendo la comprensión práctica de la normativa vial mediante la interacción continua con el entorno virtual.

- ***Base de datos***

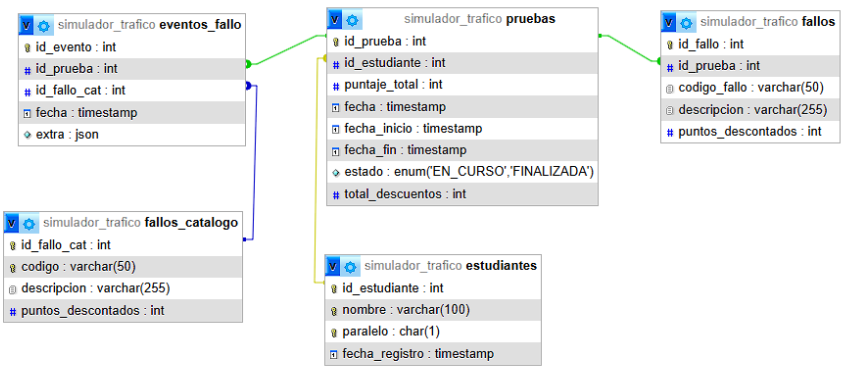


Figura 21. Tablas de la base de datos del mundo virtual

La Figura 21 es base de datos desarrollada para el entorno virtual de aprendizaje de señaléticas de tránsito constituye uno de los pilares fundamentales del sistema, ya que permite organizar, almacenar y gestionar de manera estructurada toda la información relacionada con las pruebas de los estudiantes, los eventos generados dentro del simulador y los registros de fallos asociados al desempeño. Su diseño no responde únicamente a una necesidad técnica, sino a un enfoque pedagógico orientado a evaluar, medir y retroalimentar de forma objetiva el proceso de aprendizaje en escenarios controlados. En un contexto donde la educación vial suele depender de prácticas presenciales sujetas a disponibilidad, variabilidad del tráfico y limitaciones de tiempo, disponer de una base de datos que capture de forma precisa la interacción del usuario con la señalética resulta esencial para construir un mecanismo de evaluación coherente, estandarizado y repetible.

El modelo creado integra componentes clave del proceso formativo: estudiantes, pruebas realizadas, fallos cometidos y eventos detallados dentro de cada sesión de práctica. Esta estructura facilita no solo el almacenamiento de resultados, sino también el análisis posterior del desempeño, permitiendo identificar patrones de error, tiempos de reacción, señales que presentan mayor dificultad y comportamientos que requieren refuerzo. De esta manera, la base de datos no se limita a registrar información, sino que se convierte en una herramienta de seguimiento pedagógico capaz de aportar evidencia sobre la efectividad del simulador y sobre el progreso real de los aspirantes a conductores.

La relación entre las tablas fue diseñada bajo un enfoque relacional que garantiza integridad referencial, trazabilidad de los datos y coherencia entre las actividades generadas en el entorno virtual. Las tablas estudiantes, pruebas, eventos_fallo, fallos_catalogo y fallos conforman un ecosistema compacto y bien estructurado, donde cada entidad cumple un rol específico dentro del flujo de aprendizaje. Por ejemplo, la tabla estudiantes almacena información esencial de identificación y registro; la tabla pruebas permite controlar el inicio, desarrollo y finalización de cada sesión; y las tablas de fallos capturan con precisión cada error cometido, su tipo, su gravedad y su impacto en la calificación final del usuario. A través de estas relaciones se crea un mecanismo

robusto para evaluar conocimientos y comportamientos, alineado con los objetivos pedagógicos del proyecto.

La inclusión de elementos como campos de tipo JSON, catálogos de fallos estandarizados y registros temporales permite añadir flexibilidad y escalabilidad al sistema. Esto garantiza que, a futuro, la plataforma pueda incorporar nuevos escenarios, reglas adicionales, niveles de dificultad, variaciones de señalización o informes más avanzados sin requerir una reconstrucción total del modelo. Esta escalabilidad es particularmente relevante en proyectos educativos donde los contenidos, normativas o metodologías pueden evolucionar con el tiempo.

La base de datos del simulador vial no solo respalda la funcionalidad técnica del sistema, sino que fortalece una visión educativa centrada en el seguimiento real del aprendizaje, la retroalimentación inmediata y la toma de decisiones informada por datos. Su diseño permite que el entorno virtual se convierta en un instrumento confiable para evaluar competencias relacionadas con la interpretación de la señalética, contribuyendo así a una formación más completa, segura y efectiva de los aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba.

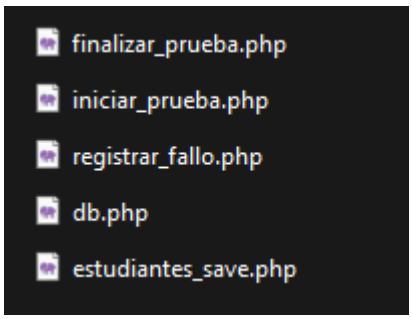


Figura 22. Servicios API REST

En términos operativos, la base de datos se integra con el entorno de simulación desarrollado en Godot 4 mediante una serie de servicios API REST (Figura 22), lo que garantiza una comunicación estructurada y eficiente entre la aplicación y el servidor. Cada uno de los scripts PHP cumple una función específica dentro del flujo de evaluación: estudiantes_save.php permite registrar o actualizar la información de los participantes; iniciar_prueba.php crea la sesión de prueba asociada a un estudiante; registrar_fallo.php almacena en la base de datos cada error cometido (por ejemplo,

detenerse de forma incorrecta, sobrepasar un límite, girar donde no corresponde o ignorar una señal); y finalizar_prueba.php cierra la sesión, calcula los resultados y deja el intento listo para su consulta. El archivo db.php centraliza la configuración y conexión a la base de datos, reutilizada por todos los servicios.

Desde el simulador, estas operaciones se ejecutan mediante solicitudes HTTP enviadas en tiempo real cada vez que el estudiante interactúa con el entorno, construyendo así un historial detallado de su desempeño. Esta arquitectura establece un puente claro entre tecnología y pedagogía, permitiendo que los datos generados en la experiencia virtual se traduzcan en indicadores medibles, verificables y útiles para la retroalimentación y la mejora continua del proceso de formación.

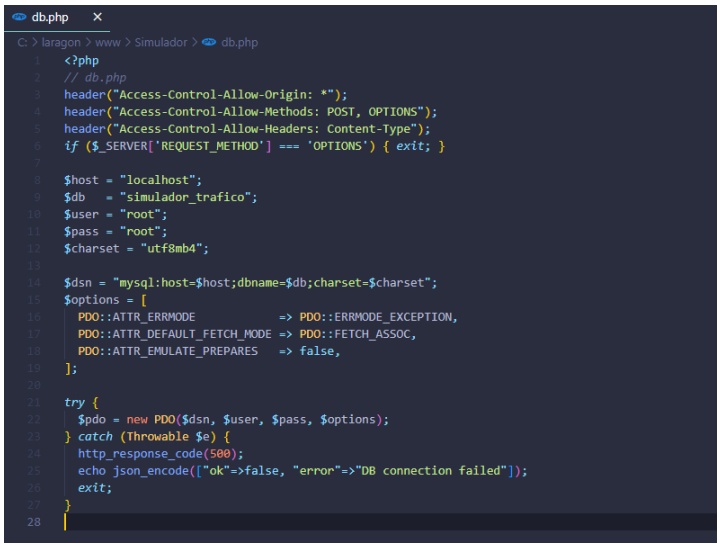


Figura 23. Código para conexión con la base de datos

La Figura 23 muestra el archivo db.php, que actúa como módulo central de conexión a la base de datos dentro de la API REST implementada sobre Laragon. Este script concentra toda la lógica necesaria para establecer la comunicación con MySQL y exponerla al resto de componentes de la aplicación. En términos generales, su función es crear y configurar un objeto de conexión reutilizable, definir las condiciones bajo las cuales se accederá al motor de base de datos y garantizar que, ante cualquier fallo, el sistema responda de manera controlada y consistente. De esta forma, los diferentes endpoints de la API no necesitan repetir la configuración de conexión, sino que se limitan a incluir este archivo y utilizar la instancia de PDO que proporciona.

En la parte inicial del archivo se configuran cabeceras HTTP orientadas a facilitar la comunicación con clientes externos mediante el uso de CORS. A través de estas cabeceras se autoriza el acceso desde distintos orígenes, se habilitan métodos como POST y OPTIONS, y se permite el uso del encabezado Content-Type en las solicitudes. Esto hace posible que la API pueda ser consumida tanto por aplicaciones web desarrolladas en JavaScript como por otros clientes, por ejemplo, un simulador construido en Godot que necesite enviar y recibir datos en formato JSON. De manera complementaria, el script contempla las llamadas de tipo OPTIONS asociadas a las peticiones "preflight" de CORS, finalizando de forma inmediata cuando se trata de este tipo de solicitud, ya que su propósito es únicamente verificar permisos antes de la operación principal.

El archivo define los parámetros básicos de conexión (servidor, nombre de base de datos, usuario, contraseña y codificación) y construye a partir de ellos la cadena DSN que se utiliza para inicializar PDO. La configuración de PDO se apoya en un conjunto de opciones que buscan mejorar la robustez y la seguridad: se especifica que los errores se gestionen mediante excepciones, se establecen los resultados en forma de arreglos asociativos y se desactiva la emulación de sentencias preparadas para favorecer el uso de consultas nativas del motor. Toda esta lógica se encapsula dentro de un bloque try–catch. En condiciones normales, el bloque try instancia el objeto PDO, que queda disponible para que otros scripts ejecuten operaciones de lectura y escritura sobre la base de datos. En caso de fallos en la conexión, el bloque catch captura la excepción y devuelve una respuesta estandarizada al cliente: se envía un código HTTP 500 junto con un mensaje JSON que indica que la conexión ha fallado. Este diseño permite desacoplar la gestión de la base de datos del resto de la API, facilita el mantenimiento del sistema y asegura que los errores se comuniquen de forma clara y uniforme a las aplicaciones que consumen el servicio.

- ***Creación de los modelos en 3D de los objetos y escenarios del entorno virtual***

Para el desarrollo del entorno virtual se elaboraron los modelos tridimensionales de los objetos, escenarios y menús interactivos que conforman la experiencia de aprendizaje. En esta etapa se combinaron recursos preexistentes con modelos creados

específicamente para el proyecto, asegurando coherencia visual y funcional dentro del mundo virtual.

Algunos objetos fueron modelados en Blender, donde se trabajó su geometría, materiales y texturas antes de exportarlos al motor Godot 4 en formato compatible (GLTF/FBX). Otros elementos más simples, como señalética o estructuras del entorno, fueron diseñados directamente dentro de Godot, aprovechando sus herramientas nativas de edición 3D. Además, se construyeron los escenarios de práctica, los menús de navegación y la disposición espacial de los objetos, procurando mantener una ambientación realista y didáctica que facilite la interpretación de las señales de tránsito y la interacción del usuario con el sistema.

Este proceso permitió generar un entorno visualmente consistente, optimizado para su ejecución en computadoras personales, donde el usuario puede desplazarse, observar y reaccionar ante los distintos elementos diseñados para el aprendizaje vial.

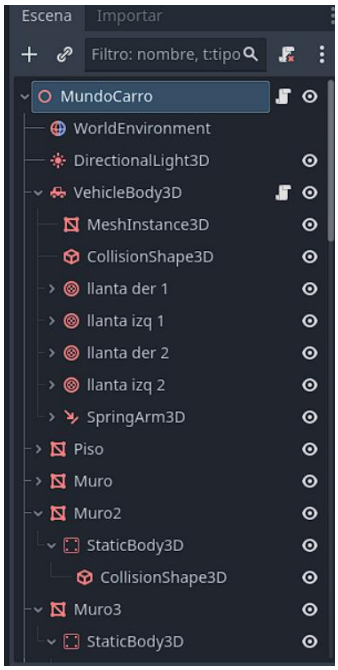


Figura 24. Estructura del proyecto como árbol de nodos

En la figura 24 muestra el árbol de nodos correspondiente a la escena principal del proyecto con el nombre de MundoCarro. En Godot, los proyectos se estructuran a partir de escenas, las cuales están compuestas por nodos organizados jerárquicamente. Cada nodo cumple una función específica como iluminación, geometría, colisión, lógica o cámara y, al combinarse, forman el mundo donde ocurre la simulación.

En esta escena se integran elementos fundamentales, como el nodo WorldEnvironment, que define las condiciones generales del entorno: luz global, cielo y efectos ambientales. También se incluye una DirectionalLight3D, que simula la fuente principal de iluminación, similar a la luz solar.

Para el manejo de la cámara, se utiliza un nodo SpringArm3D, que actúa como brazo extensible. Este nodo mantiene la cámara a una distancia adecuada del vehículo y suaviza los movimientos, generando una experiencia de conducción más cómoda para el usuario.

El resto del árbol de nodos completa la escena de prueba. Se incluyen el piso y varios muros (Muro, Muro2, Muro3), todos implementados como cuerpos estáticos (StaticBody3D con su respectivo CollisionShape3D), los cuales definen el suelo y los límites del área de juego para evitar que el vehículo se salga del escenario.

Esta estructura jerárquica facilita un diseño modular: cada elemento puede editarse, activarse o sustituirse sin afectar el funcionamiento del resto de la escena. Gracias a este sistema basado en nodos, Godot permite construir mundos virtuales complejos con una organización clara, tanto en lo visual como en lo programático.

Dentro de este entorno se encuentra el nodo VehicleBody3D, que representa el vehículo que controla el usuario. Este nodo incluye un MeshInstance3D, que contiene la malla visual del auto, y un CollisionShape3D, que define el volumen de colisión para detectar impactos con los elementos del entorno. Cada llanta del vehículo (delantera derecha, delantera izquierda, trasera derecha y trasera izquierda) está representada por un nodo individual, lo que permite controlar de manera independiente su rotación y la interacción con el terreno.

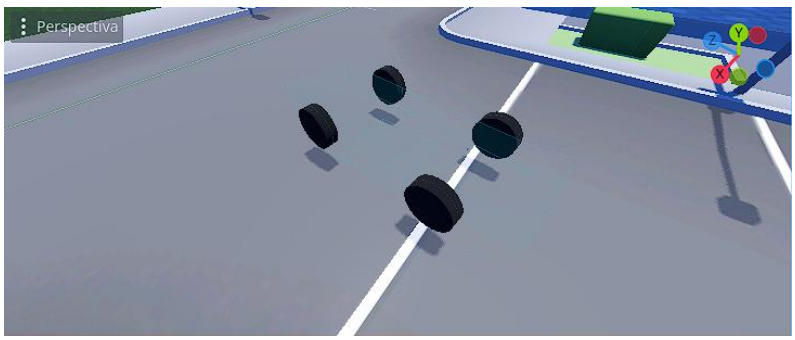


Figura 25. Diseño estructural del vehículo

En la Figura 25 se presenta el diseño estructural del vehículo, el cual corresponde al modelo base o chasis sobre el que se construyó todo el sistema. En esta figura se pueden apreciar los elementos principales, como las llantas y la carrocería, que evidencian el proceso de modelado realizado desde cero para dar forma al vehículo dentro del entorno virtual.



```
extends VehicleBody3D

@export var puede_mover: bool = false
@export var factor_direccion: float = 0.4
@export var fuerza_motor: float = 100.0
@export var velocidad_label: Label  # <- Asigna aquí tu Label del HUD

func _ready() -> void:
    call_deferred("_init_hud")  # asegurate de que el HUD ya esté en el árbol

func _physics_process(_delta: float) -> void:
    if puede_mover:
        steering = Input.get_axis("derecha", "izquierda") * factor_direccion
        engine_force = Input.get_axis("atras", "adelante") * fuerza_motor
    else:
        steering = 0.0
        engine_force = 0.0

    _actualizar_velocidad_hud()

# ---------- HUD ----------
func _init_hud() -> void:
    if not velocidad_label:
        push_error("Velocidad HUD: No se asignó el Label en el export del carro.")
        return

    # Estilo (blanco con borde negro + sombra)
    var ls := LabelSettings.new()
    ls.font_color = Color(1, 1, 1, 1)
    ls.outline_color = Color(0, 0, 0, 1)
    ls.outline_size = 5
    ls.shadow_color = Color(0, 0, 0, 0.6)
    ls.shadow_offset = Vector2(2, 2)
    ls.font_size = 28
    velocidad_label.label_settings = ls
```

Figura 26. Diseño de código para el movimiento del carro

En la Figura 26 se presenta el fragmento de código que define la funcionalidad del vehículo dentro del entorno virtual. Este script permite controlar el movimiento mediante las teclas W, A, S y D, que corresponden a avanzar, retroceder, girar a la izquierda y girar a la derecha, respectivamente. Además, el código incluye la detección de la velocidad del vehículo y la visualización de mensajes de texto informativos, elementos que contribuyen a una interacción más dinámica y realista durante la simulación.



Figura 27. Configuración del nodo VehicleBody3D

En la figura 27 se muestra la configuración del nodo VehicleBody3D correspondiente al vehículo principal del simulador. En el panel Inspector se observa el script asociado (carroscript.gd) y varios parámetros expuestos, como la opción Puede mover, el Factor dirección, la Fuerza motor y la velocidad del carro, que controlan el comportamiento dinámico del vehículo durante la simulación. Debajo se detallan también las propiedades físicas heredadas de RigidBody3D, entre ellas la masa, el material físico y la escala de gravedad, que permiten ajustar la sensación de peso, tracción y respuesta del carro dentro del entorno virtual.

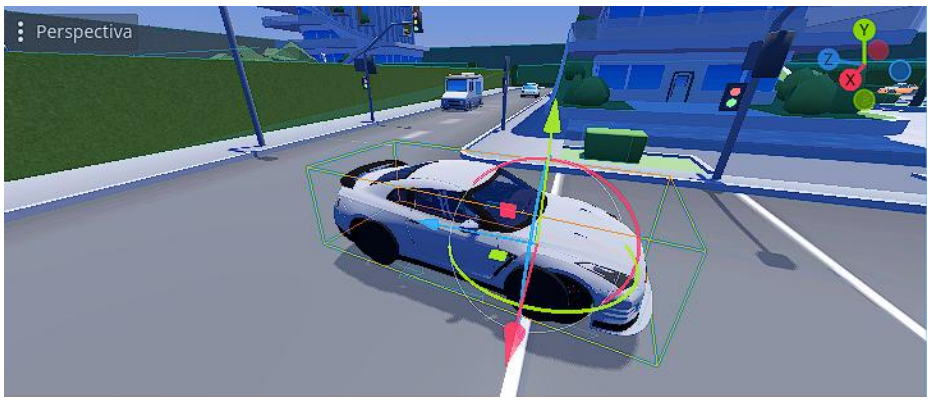


Figura 28. Diseño realista del vehículo

En la Figura 28 se muestra el vehículo con el diseño final en un formato realista, inspirado en un automóvil convencional. Este modelo busca aproximarse lo más posible a la apariencia de un carro real, incorporando detalles visuales y proporciones que aportan realismo al entorno virtual y mejoran la experiencia de aprendizaje del usuario.

- ***Diseño del menú principal***

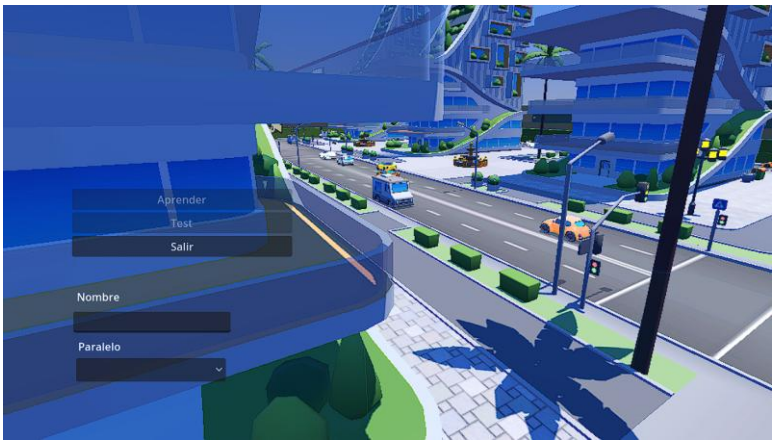
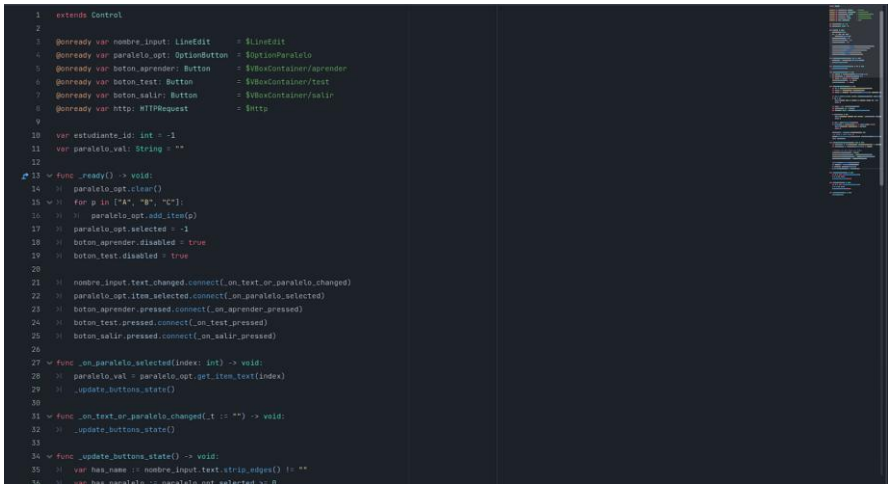


Figura 29. Diseño de página principal

La figura 29 muestra el diseño de la página principal del simulador, donde se presentan de forma clara los accesos a las funciones principales del sistema: Aprender, Test y Salir. Esta interfaz inicial incluye un formulario para que el estudiante registre su nombre y paralelo, información necesaria para el seguimiento académico y la correcta vinculación de los datos en la base de resultados.

El sistema valida estos campos antes de permitir el ingreso a cualquier módulo; por lo tanto, si el usuario no ingresa su nombre y paralelo, no podrá acceder ni a la zona de aprendizaje ni a la zona de prueba. Este mecanismo garantiza la trazabilidad de cada sesión, facilita la evaluación individual y evita registros incompletos o anónimos dentro del entorno virtual.

El diseño se ha concebido para ser intuitivo, directo y accesible, de manera que el usuario identifique rápidamente las opciones principales y pueda iniciar una sesión sin complicaciones, manteniendo la coherencia visual y funcional del simulador.



```
extends Control

@onready var nombre_input: LineEdit      = $LineEdit
@onready var paralelo_opt: OptionButton  = $OptionParalelo
@onready var boton_aprender: Button      = $VBoxContainer/aprender
@onready var boton_test: Button          = $VBoxContainer/test
@onready var boton_salir: Button         = $VBoxContainer/salir
@onready var http: HTTPRequest           = $Http

var estudiante_id: int = -1
var paralelo_val: String = ""

func _ready() -> void:
    paralelo_opt.clear()
    for p in ["A", "B", "C"]:
        paralelo_opt.add_item(p)
    paralelo_opt.selected = -1
    boton_aprender.disabled = true
    boton_test.disabled = true

    nombre_input.text_changed.connect(_on_text_or_paralelo_changed)
    paralelo_opt.item_selected.connect(_on_paralelo_selected)
    boton_aprender.pressed.connect(_on_aprender_pressed)
    boton_test.pressed.connect(_on_test_pressed)
    boton_salir.pressed.connect(_on_salir_pressed)

func _on_paralelo_selected(index: int) -> void:
    paralelo_val = paralelo_opt.get_item_text(index)
    _update_buttons_state()

func _on_text_or_paralelo_changed(_t := "") -> void:
    _update_buttons_state()

func _update_buttons_state() -> void:
    var has_name := nombre_input.text.strip_edges() != ""
```

Figura 30. Diseño del código de menú interactivo

La figura 30 muestra el fragmento de código encargado de gestionar el funcionamiento del menú interactivo dentro del simulador. Este componente define la lógica que permite activar y navegar entre las distintas opciones del menú, controlar su comportamiento en pantalla y ejecutar las acciones asociadas a cada botón o elemento del interfaz.

El código ilustrado constituye la base de la interacción del usuario con los diferentes módulos del sistema, ya que desde este menú es posible acceder a funciones como la zona de aprendizaje, la zona de prueba, las configuraciones esenciales o el cierre de sesión. De manera similar, otros menús del proyecto utilizan estructuras y métodos relacionados, lo que garantiza coherencia, modularidad y mantenibilidad en la arquitectura del simulador.

- ***Diseño zona de aprendizaje***

El diseño del entorno virtual de aprendizaje fue una etapa clave en el desarrollo del simulador, ya que define cómo interactúa el usuario con los contenidos y cómo se facilita la adquisición del conocimiento de manera inmersiva. El entorno fue realizado como una ciudad virtual que incorpora elementos comunes del espacio urbano, con el objetivo de generar una sensación de familiaridad y realismo durante el proceso formativo.

La zona interactiva está pensada para que el usuario pueda recorrer libremente distintas áreas de la ciudad: calles, avenidas y zonas señalizadas que reproducen situaciones reales del tránsito. En estos recorridos el estudiante tiene acceso a materiales educativos en formato interactivo, como videos explicativos, imágenes ilustrativas y textos informativos, que le ayudan a identificar y entender el significado de cada tipo de señal de tránsito.

Con este enfoque, se busca que la experiencia de aprendizaje sea visual, dinámica y conectada con situaciones cotidianas, más allá de la simple memorización. Al vincular los contenidos con escenarios reales, el entorno virtual se convierte en un recurso didáctico inmersivo que apoya el desarrollo de competencias tanto cognitivas como prácticas, esenciales para una correcta interpretación y aplicación de la señalética vial.

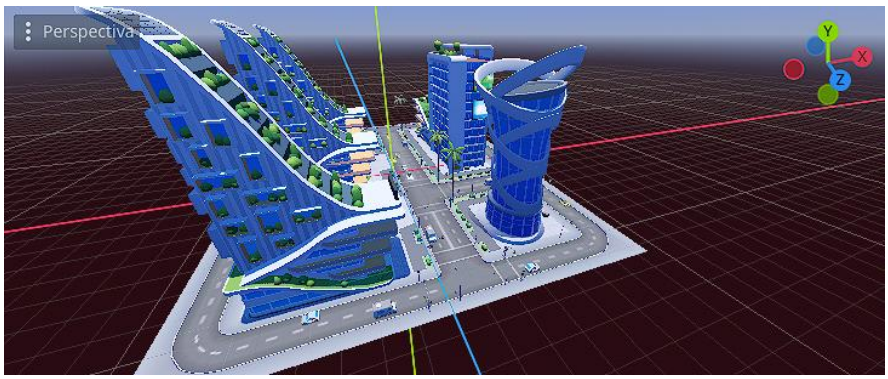


Figura 31. Diseño de la ciudad para la zona de aprendizaje

La figura 31 muestra el diseño general de la ciudad virtual utilizada como base para la zona de aprendizaje. Este entorno reproduce un espacio urbano familiar, compuesto por edificios, vehículos estacionados, paradas, intersecciones y elementos típicos de una ciudad real. Su propósito es generar un escenario coherente, reconocible y contextualizado, permitiendo que el usuario se sienta inmerso en un ambiente similar al que experimentaría durante la conducción cotidiana.

Dentro de este mundo virtual se integra la zona de aprendizaje, donde se ubican diversos puntos interactivos representados mediante círculos o marcadores en el mapa. Al acercarse a cada uno de estos puntos, el usuario puede acceder a contenidos educativos sobre las señaléticas de tránsito, presentados mediante videos, imágenes y textos explicativos. Este enfoque facilita que el aprendizaje se desarrolle de manera

guiada, visual y situada, reforzando la comprensión de la señalética a través de la exploración libre del entorno urbano simulado.

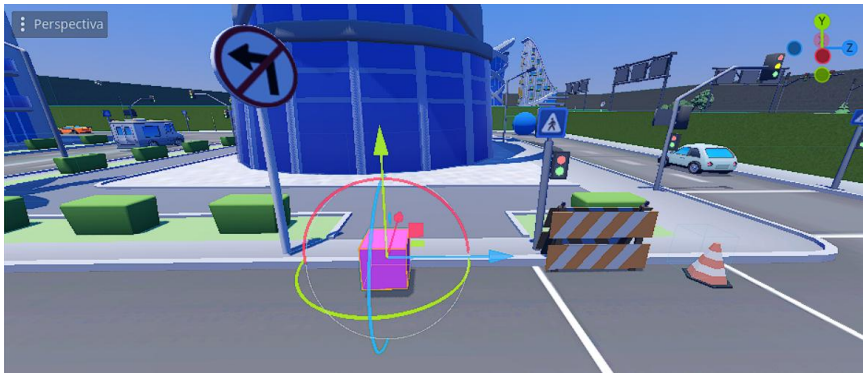
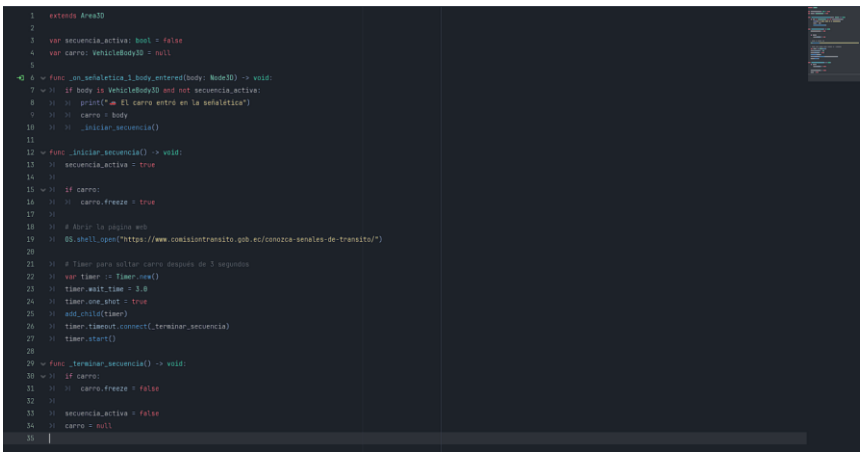


Figura 32. Marcadores en la zona de aprendizaje

La Figura 32 muestra un ejemplo de los marcadores interactivos distribuidos en la zona de aprendizaje del entorno urbano simulado. Estos marcadores pueden adoptar diferentes formas geométricas como cubos o esferas y señalan los puntos del mapa en los que el usuario puede detenerse para acceder a distintos contenidos educativos. Al interactuar con cada marcador, se despliegan recursos como videos, imágenes o textos explicativos relacionados con la señalética de tránsito presente en ese sector, lo que permite vincular de manera directa el recorrido dentro del mundo virtual con la revisión guiada de los conceptos teóricos.



```
extends Area3D

var secuencia_activa: bool = false
var carro: VehicleBody3D = null

func _on_señaletica_1_body_entered(body: Node3D) -> void:
    if body is VehicleBody3D and not secuencia_activa:
        print("🚗 El carro entró en la señalética")
        carro = body
        _iniciar_secuencia()

func _iniciar_secuencia() -> void:
    secuencia_activa = true

    if carro:
        carro.freeze = true

    # Abrir la página web
    OS.shell_open("https://www.comisiontransito.gob.ec/conozca-senales-de-transito/")

    # Timer para soltar carro después de 3 segundos
    var timer := Timer.new()
    timer.wait_time = 3.0
    timer.one_shot = true
    add_child(timer)
    timer.timeout.connect(_terminar_secuencia)
    timer.start()

func _terminar_secuencia() -> void:
    if carro:
        carro.freeze = false

    secuencia_activa = false
    carro = null
```

Figura 33. Codigo del funcionamiento de marcadores interactivos

En la Figura 33 se muestra el script que controla el funcionamiento de uno de los marcadores interactivos del mapa dentro del entorno virtual. En este caso, el marcador

se asocia a un cubo ubicado junto a una señal de tránsito y está programado para detectar cuándo el vehículo del usuario entra en su área de colisión (clase Area3D). Cuando el carro toca el marcador, el script activa una pequeña secuencia: detiene temporalmente el movimiento del vehículo y abre en el navegador una página web oficial del Gobierno del Ecuador (dominio *gob.ec*) con información detallada sobre las señales de tránsito, de modo que el estudiante pueda reforzar la parte teórica con contenidos alineados a la normativa ecuatoriana mientras se encuentra dentro del simulador. Tras unos segundos, el código finaliza la secuencia y permite que el usuario continúe con la conducción. Este mismo esquema se reutiliza en otros marcadores distribuidos por el mundo virtual, cada uno enlazado a diferentes contenidos o acciones específicas, lo que en conjunto enriquece la experiencia de aprendizaje.



Figura 34. Mensaje introductorio en la zona de aprendizaje

La figura 34 presenta el mensaje introductorio que aparece al ingresar a la zona de aprendizaje. Este recurso guía al usuario desde el inicio, proporcionando instrucciones básicas sobre cómo desplazarse con el vehículo dentro del entorno virtual, así como la forma de interactuar con los distintos puntos educativos distribuidos en la ciudad.

La introducción, tal como se muestra en la figura, establece el punto de partida para que el usuario se familiarice con los controles y con la dinámica general de la zona de aprendizaje, asegurando una experiencia formativa clara y accesible desde los primeros minutos de navegación.

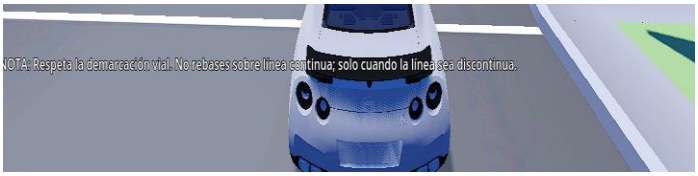


Figura 35. Mensajes informativos en la ciudad zona de aprendizaje

A lo largo del recorrido, el sistema muestra mensajes informativos adicionales, que incluyen indicaciones sobre las acciones que el usuario debe realizar, recomendaciones de conducción y observaciones relevantes acerca de las señaléticas de tránsito presentes en el entorno (Figura 35). Estos mensajes cumplen una función didáctica, ya que orientan al estudiante, refuerzan conceptos importantes y facilitan la comprensión del significado y aplicación correcta de cada señal.

```gdscript
@export var carro: VehicleBody3D   # Asigna tu carro desde el editor
@onready var audio_bienvenida: AudioStreamPlayer3D = $AudioBienvenida

var esperando_input: bool = false
var mostrado: bool = false
var cerrado: bool = false

func _ready() -> void:
    # Estiliza el Label con contorno negro y texto blanco (vía LabelSettings)
    _estilizar_label_hud(mensaje)
    # Ocultar al inicio
    mensaje.hide()

    # Esperar un frame de física para que el área conozca los cuerpos dentro
    await get_tree().physics_frame

    # Si el carro ya está dentro al iniciar, mostrar mensaje
    for body in get_overlapping_bodies():
        if body is VehicleBody3D and not mostrado:
            _mostrar_mensaje()
            break

func _process(_delta: float) -> void:
    if esperando_input and Input.is_action_just_pressed("ui_accept"): # ESPACIO
        _ocultar_mensaje()

func _on_bienvenida_body_entered(body: Node3D) -> void:
    if body is VehicleBody3D and not mostrado:
        _mostrar_mensaje()

func _mostrar_mensaje() -> void:
    if cerrado: return

    mensaje.text = "¡Bienvenido a mi mundo virtual!\n" \
        + "Dirígete a los distintos puntos de la ciudad para aprender sobre señaléticas de tránsito, infracciones y normas de conducción.\n" \
        + "(Presiona ESPACIO para continuar)"
    mensaje.show()
```

Figura 36. Script del mensaje de bienvenida

En la Figura 36 se presenta el script encargado del mensaje de bienvenida del entorno virtual. Este código detecta cuándo el vehículo del usuario ingresa al área inicial del escenario y, en ese momento, muestra en pantalla un texto de bienvenida que orienta al estudiante sobre el propósito del simulador y le indica que puede desplazarse por la ciudad para aprender sobre señalética, infracciones y normas de conducción. De forma complementaria, el script activa un audio pregrabado con el mismo contenido del mensaje escrito, de modo que la instrucción se ofrece tanto de manera visual como

auditiva. Esta combinación de texto y narración refuerza la comprensión de las indicaciones iniciales y contribuye a una experiencia más inmersiva e inclusiva dentro del entorno virtual.

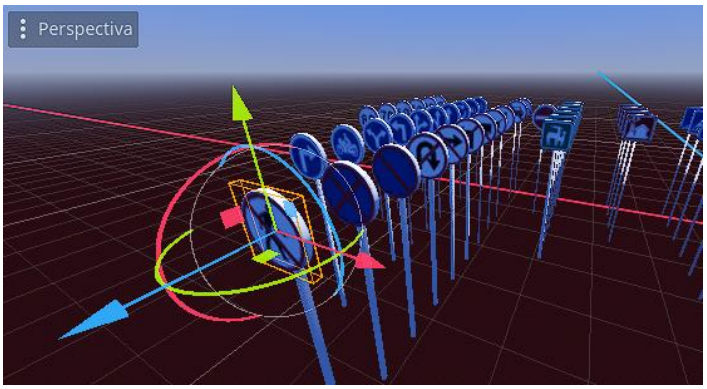


Figura 37. Diseño de las señaléticas de tránsito

En la Figura 37 se presentan los diseños de las diferentes señaléticas de tránsito incorporadas en el entorno virtual. Cada señal ha sido elaborada respetando su forma, color y significado oficial, conforme a la normativa ecuatoriana de tránsito, lo que garantiza una representación precisa y funcional dentro del simulador. Estos elementos son esenciales para el aprendizaje, ya que constituyen la base del contenido educativo que el estudiante debe reconocer, interpretar y aplicar en su futura práctica de conducción.

La inclusión de estas señaléticas ecuatorianas en formato digital permite ofrecer una ayuda visual clara y coherente, facilitando que los usuarios las identifiquen correctamente durante su recorrido por la ciudad virtual y dentro de los puntos interactivos de la zona de aprendizaje. De esta manera, el diseño de las señales no solo refuerza la comprensión visual y contextual del estudiante, sino que también asegura que la experiencia formativa se mantenga alineada con las condiciones reales de tránsito del país.

- ***Diseño zona de prueba***

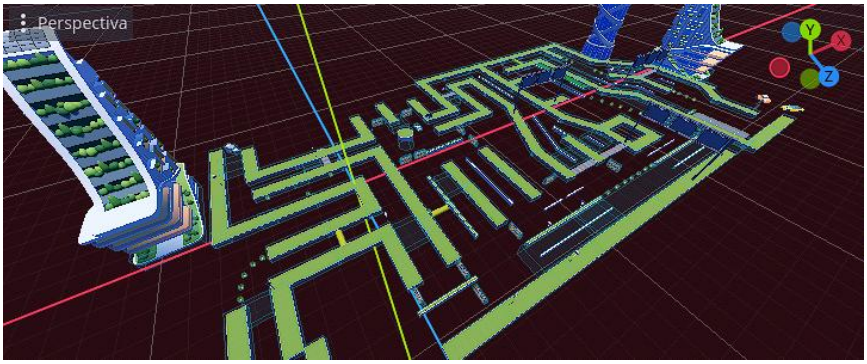


Figura 38. Diseño de la zona de prueba

La figura 38 muestra el diseño del circuito destinado a la zona de prueba, inspirado en los recorridos utilizados en las escuelas de conducción. Este espacio simula un trayecto estructurado donde el usuario debe avanzar siguiendo el camino establecido y atravesando distintos puntos de control distribuidos a lo largo del circuito. Durante el recorrido, el sistema presenta diversas señaléticas de tránsito situadas estratégicamente, con el fin de evaluar la capacidad del estudiante para reconocerlas y reaccionar de forma adecuada. Este diseño busca replicar un escenario de evaluación real, permitiendo que el usuario ponga en práctica lo aprendido en la zona de aprendizaje dentro de un entorno controlado, seguro y pedagógicamente significativo.

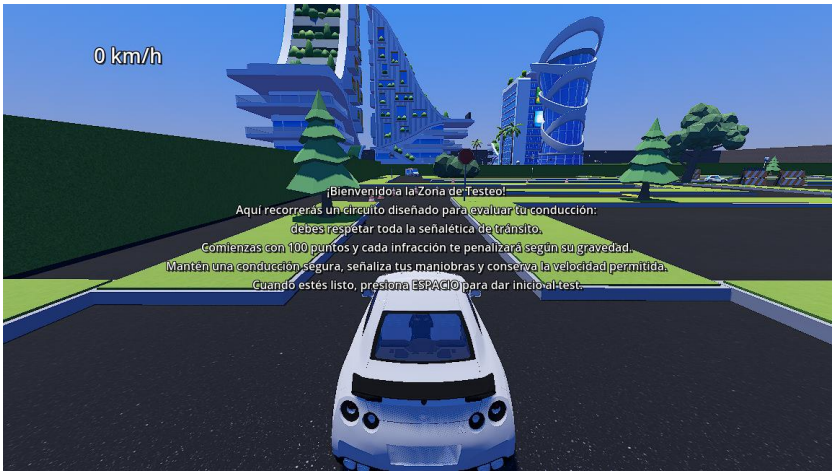


Figura 39. Mensaje introductorio en la zona de prueba

En la Figura 39 muestra el mensaje introductorio que aparece al ingresar a la zona de prueba, en el cual se indica al usuario qué debe hacer durante la evaluación práctica,

especificando las instrucciones básicas del recorrido, el cumplimiento de las normas de tránsito y la forma en que se registrarán sus aciertos y errores dentro del simulador.

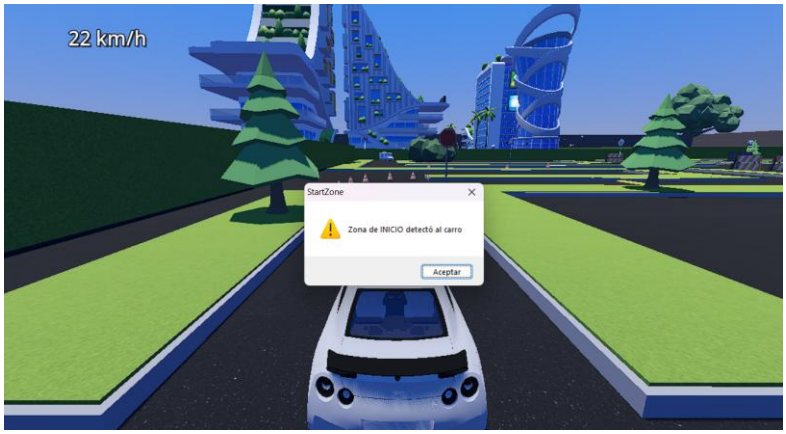


Figura 40. Mensaje para iniciar la prueba

En la Figura 40 se observa el mensaje emergente que aparece cuando el vehículo del estudiante ingresa a la “zona de inicio” de la prueba. En ese momento, el sistema detecta al carro y genera una alerta visual indicando que la evaluación ha comenzado, de modo que el usuario comprende que, a partir de ese punto, todas sus acciones dentro del entorno serán registradas y calificadas. Desde este instante debe completar el recorrido establecido respetando la señalética y las normas de conducción para poder acceder posteriormente a sus resultados.

En esta zona, el usuario debe respetar cada señal, ya sea detenerse, ceder el paso, moderar la velocidad o seguir restricciones específicas del recorrido. Cada acción correcta o incorrecta es registrada por el sistema. Cuando el usuario comete un error, la aplicación muestra en pantalla una notificación inmediata indicando el tipo de falta, por ejemplo, “No respetó el alto”, “Excedió la velocidad permitida” o “No cedió el paso”, acompañada de la correspondiente deducción de puntos.

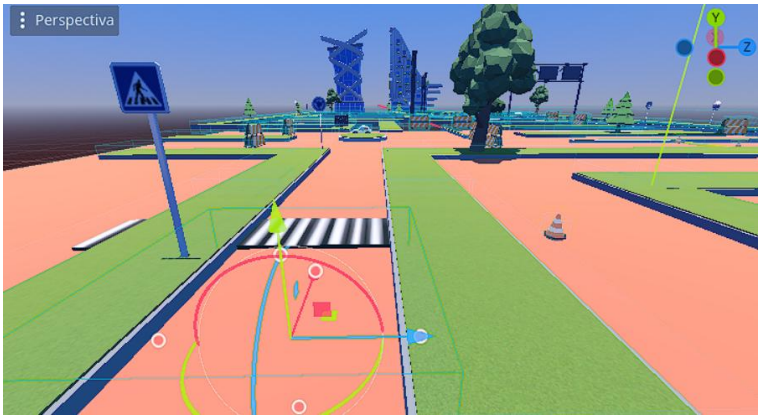


Figura 41. Funcionamiento de las zonas de fallo

La Figura 41 ilustra el funcionamiento de las zonas de fallo asociadas a la señalética dentro del entorno virtual. En este caso, el paso cebra está rodeado por un Area3D que detecta el comportamiento del vehículo cuando se aproxima y atraviesa el cruce peatonal. La lógica del simulador establece que, al llegar a esta zona, el estudiante debe detenerse al menos 3 segundos antes de continuar la marcha; si cumple correctamente esta norma, puede avanzar sin penalización. En cambio, si atraviesa el paso cebra sin realizar la detención requerida, el sistema registra automáticamente una falta y descuenta puntos de la calificación global, calculada sobre 100. De esta manera, las áreas de detección permiten vincular directamente las acciones del usuario con el sistema de evaluación, reforzando el cumplimiento de las normas de tránsito.

```
func _on_body_exited(body: Node) -> void:
    if not _inside:
        return
    if body != _car:
        return

    _inside = false

    # Si salió SIN cumplir los 3 s → fallo
    if not _satisfied:
        var manager := _find_manager_with_method("registrar_fallo")
        if manager:
            if debug_alert:
                OS.alert("No respetó el paso cebra (faltó detenerse)", "CEBRA FALLO")
            manager.call_deferred("registrar_fallo", codigo_fallo)
        else:
            print("[CrosswalkZone] No encontré registrar_fallo() en ancestros")
    else:
        if debug_alert:
            OS.alert("Salida sin penalización (paso cebra cumplido)", "OK")

    # Limpieza y opción one-shot
    _car = null
    if one_shot:
        monitoring = false
        set_deferred("monitorable", false)
        set_physics_process(false)
```

Figura 42. Código sobre el registro de fallas

La Figura 42 muestra el fragmento de código responsable de registrar las faltas asociadas al paso cebra. Cuando el vehículo sale del Area3D correspondiente, la función *_on_body_exited()* verifica primero que se trate efectivamente del carro del usuario y comprueba si se cumplió la condición de permanencia mínima (3 segundos detenido sobre la cebra). Si la condición no se satisface, el script considera que se ha producido una infracción y localiza un objeto de gestión (manager) que dispone del método *registrar_fallo*. A través de esta llamada, el simulador envía el código de la falta al módulo de gestión de registros, el cual se encarga de invocar el servicio API REST *registrar_fallo.php* y almacenar la infracción en la base de datos junto con la información del estudiante, la prueba y el tipo de fallo. En caso de que el estudiante haya respetado correctamente el paso cebra, el sistema no genera penalización y, opcionalmente, muestra un mensaje informativo.

Además del código mostrado para el paso cebra, cada tipo de señalética dentro del entorno virtual cuenta con su propia lógica de evaluación y con un catálogo específico de fallos y puntajes a descontar. En los distintos puntos del mapa se han configurado zonas de detección asociadas, por ejemplo, a no respetar un semáforo en rojo, exceder la velocidad permitida, girar en un sentido prohibido o invadir un carril restringido. Cuando el estudiante incumple la norma correspondiente, el sistema identifica el tipo de señal implicada, asigna el código de fallo adecuado y descuenta automáticamente los puntos definidos para esa infracción dentro de una calificación total sobre 100. De esta manera, el simulador no solo registra si el usuario comete errores, sino también cuáles son las normas específicas que transgrede y el impacto de cada una en su desempeño global.



Figura 43. Mensaje cuando culmina la prueba

La Figura 43 muestra la ventana de resultados que se presenta al finalizar el circuito de evaluación. Una vez que el estudiante atraviesa la zona de término de la prueba, el simulador calcula automáticamente la calificación obtenida, mostrando el total de puntos descontados y la puntuación final sobre 100. Además, esta información se complementa con el registro detallado de las faltas almacenadas en la base de datos, lo que permite al aspirante y al docente identificar qué errores se cometieron durante el recorrido y en qué aspectos específicos de la normativa vial es necesario reforzar el aprendizaje.

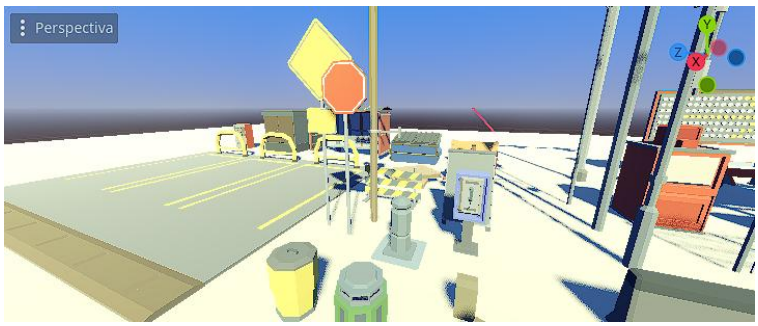


Figura 44. Diseño de objetos para el entorno virtual

La figura 44 presenta una selección de objetos utilizados en la construcción del entorno virtual, los cuales son fundamentales para lograr una ambientación urbana más realista y coherente. Entre estos elementos se incluyen objetos decorativos como postes, luminarias, basureros y mobiliario urbano, así como objetos funcionales

indispensables en la simulación, tales como conos de seguridad, barreras, señales de prohibición de paso y otros componentes propios de escenarios viales.

Estos objetos cumplen una doble función: por un lado, aportan profundidad visual y contexto al mundo virtual, permitiendo que el usuario perciba un entorno más cercano a situaciones reales de circulación; por otro lado, algunos de ellos forman parte de la dinámica de aprendizaje y evaluación, ya que pueden delimitar zonas, indicar restricciones o guiar al estudiante en el recorrido. De esta manera, el conjunto de objetos contribuye tanto al realismo como a la funcionalidad pedagógica del simulador.

3.3.4 Fase 4: Beta

Para esta fase del proyecto se desarrolló una versión beta funcional del entorno virtual, la cual fue puesta a prueba por un grupo de estudiantes del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. El objetivo fue evaluar su desempeño técnico, facilidad de uso y adecuación a los objetivos pedagógicos del proyecto.

La prueba permitió observar cómo los usuarios interactuaban con el simulador en condiciones reales, lo que facilitó la detección de errores en el reconocimiento de señales, el análisis de los tiempos de reacción, la identificación de fallos recurrentes y la recopilación de opiniones sobre la claridad de los escenarios, la interfaz y la retroalimentación brindada por el sistema.

Las Figuras 45 y 46 documentan el momento en que varios estudiantes participaron activamente en la prueba. Durante la sesión, exploraron tanto la zona de aprendizaje recorriendo calles virtuales, reconociendo señales de tránsito y repitiendo los trayectos las veces que consideraron necesarias como la zona de evaluación, en la que enfrentaron preguntas y situaciones simuladas para comprobar su comprensión.

Esta actividad no solo sirvió para verificar el correcto funcionamiento técnico del simulador, sino también para confirmar su usabilidad. Los estudiantes lograron desplazarse por el entorno, interactuar con los elementos y completar las tareas sin

inconvenientes, lo que demuestra que la interfaz es intuitiva y que la dinámica propuesta se ajusta adecuadamente al proceso de enseñanza-aprendizaje.



Figura 45. Prueba beta: Zona de aprendizaje

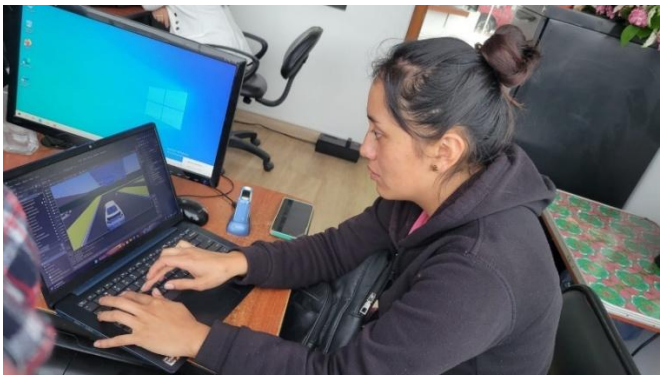


Figura 46. Prueba beta: Test de conducción

Con base en los resultados del pilotaje, se realizaron ajustes en la iluminación, la visibilidad de las señales, la sensibilidad de control del vehículo, la secuencia de rutas y los mensajes de retroalimentación, garantizando que la experiencia final sea intuitiva, estable y acorde con los objetivos de aprendizaje de la señalética vial.

3.3.5 Fase 5: Cierre

Esta etapa se centró en evaluar, con un enfoque cuantitativo y sistemático, cómo influye el uso del entorno virtual en el aprendizaje de la señalética de tránsito por parte de los aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Para ello, se aplicó una prueba de conocimientos en dos momentos (antes y después del uso del simulador) y se trabajó con dos grupos comparativos: uno experimental y

otro de control. También se diseñó una encuesta de percepción para recoger la opinión de los usuarios sobre la herramienta.

- ***Reporte de métricas cuantitativas alineadas con los atributos de calidad ISO/IEC 25010***

El reporte de métricas cuantitativas permitió evaluar de forma objetiva la calidad del entorno virtual desarrollado, a partir de datos medibles obtenidos durante su implementación y validación. Estas métricas se alinearon con el modelo de calidad propuesto por el estándar ISO/IEC 25010, el cual define un conjunto de características que facilan la evaluación del comportamiento y desempeño de un producto de software.

Las métricas cuantitativas fueron utilizadas para analizar aquellos atributos de calidad considerados más relevantes para un entorno virtual educativo, tales como la funcionalidad, la usabilidad, el rendimiento y la fiabilidad. La selección de estos atributos respondió a la necesidad de garantizar que el sistema no solo cumpliera con los requisitos técnicos, sino que además fuera comprensible, estable y eficiente para los estudiantes durante su uso.

Cada métrica fue definida a partir de criterios claros y medibles, lo que permitió obtener resultados concretos mediante pruebas controladas, registros del sistema y la aplicación de instrumentos de evaluación. Entre los indicadores considerados se incluyeron el tiempo de respuesta del sistema, la correcta ejecución de las funciones, la facilidad de interacción del usuario con el entorno y la estabilidad del sistema durante las sesiones de práctica.

El análisis de estas métricas permitió identificar el nivel de cumplimiento de los atributos de calidad establecidos, así como detectar posibles áreas de mejora. De esta manera, el reporte de métricas cuantitativas se constituyó como un respaldo técnico que sustentó la calidad del entorno virtual desarrollado y su adecuada aplicación como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje, en concordancia con los lineamientos del estándar ISO/IEC 25010.

- ***Encuesta de percepción sobre el entorno virtual***

Para complementar los datos de aprendizaje con la opinión de los estudiantes, se aplicó una encuesta al grupo experimental después de usar el simulador. El objetivo fue conocer su experiencia en cuanto a usabilidad, claridad de las señales, realismo del entorno, utilidad de la retroalimentación, motivación y disposición para seguir usando la herramienta

La encuesta se estructuró en dos partes:

- **Datos generales**: Incluyó edad, sexo y experiencia previa con simuladores o videojuegos educativos.
- **10 ítems tipo Likert de 5 puntos:** Donde se representa como: 1 = Totalmente en desacuerdo; 2 = En desacuerdo; 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 = De acuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo.

Los ítems evaluaron los siguientes aspectos:

Tabla 27. Preguntas para evaluar el mundo virtual

Id	Pregunta
1	Facilidad de uso del entorno virtual.
2	Claridad visual de las señales de tránsito.
3	Realismo del escenario simulado.
4	Claridad y utilidad de la retroalimentación del sistema.
5	Ayuda del simulador para recordar el significado de las señales.
6	Incremento en la seguridad percibida para rendir el examen práctico.
7	Utilidad del sistema de puntuación para identificar errores frecuentes.
8	Carácter dinámico e interesante de la clase al usar el simulador.
9	Intención de recomendar el entorno virtual a otros estudiantes.
10	Intención de seguir utilizando el simulador como herramienta complementaria.

La consistencia interna del cuestionario se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de $\alpha = 0,86$, lo que indica una muy buena

confiabilidad, es decir, los ítems miden de manera coherente los constructos de percepción planteados.

Tabla 28. Resultados descriptivos de la encuesta de percepción del entorno virtual (grupo experimental)

Ítem	Media	DE
El entorno virtual fue fácil de usar.	4,47	0,64
Las señales de tránsito se visualizaron con claridad.	4,60	0,51
El entorno simulado se siente realista para practicar.	4,33	0,72
La retroalimentación (mensajes/indicadores) fue clara y útil.	4,53	0,64
El simulador me ayudó a recordar mejor las señales.	4,67	0,49
Practicar en el entorno virtual me hizo sentir más seguro.	4,40	0,63
El sistema de puntuación me permitió identificar mis errores.	4,47	0,64
El uso del simulador hizo la clase más dinámica e interesante.	4,73	0,46
Recomendaría este entorno virtual a otros estudiantes.	4,80	0,41
Me gustaría seguir utilizando el simulador como complemento.	4,73	0,46

Los promedios se ubican entre 4,33 y 4,80 puntos, lo que evidencia una alta aceptación del entorno virtual. Los estudiantes valoran especialmente el carácter dinámico de la experiencia, la ayuda para recordar las señales y la intención de recomendar y seguir utilizando el simulador como parte de su formación. El cuestionario completo se presenta en los anexos.

- ***Resultados de la evaluación del entorno virtual de señalética***

La evaluación del entorno virtual se realizó con 30 aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba, distribuidos en dos grupos de 15 estudiantes cada uno: un grupo experimental, que trabajó con la enseñanza tradicional

más el entorno virtual de simulación, y un grupo de control, que solo recibió la enseñanza tradicional.

En ambos grupos se aplicó la misma prueba de conocimientos de señalética de tránsito en dos momentos: antes de la intervención (pretest) y después de finalizar las sesiones de trabajo (postest). Adicionalmente, al grupo experimental se le aplicó una encuesta de percepción sobre el entorno virtual

- ***Definición de variables de análisis***

Para cada estudiante se registraron los siguientes puntajes:

- $\boldsymbol{P}\text{pre}, i$: puntaje en el pretest del estudiante i,
- $\boldsymbol{P}\text{post}, i$: puntaje en el postest del estudiante i,

ambos sobre un máximo de 20 puntos.

A partir de estos valores se definió la ganancia de aprendizaje individual como:

$$Gi = P\text{post}, i - P\text{pre}, i$$

Para cada grupo se calculó la ganancia media de aprendizaje:

$$\bar{G} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Gi$$

donde n es el número de estudiantes del grupo.

De este modo se puede comparar no solo el nivel inicial y final de cada grupo, sino también cuánto mejoró en promedio cada estudiante gracias al proceso formativo.

- ***Desempeño en la prueba de conocimientos***

Los resultados iniciales muestran que ambos grupos partieron de niveles muy similares de conocimiento de la señalética de tránsito. En el pretest se obtuvieron las siguientes medias:

- Grupo de control: $\bar{\boldsymbol{P}}\text{pre, ctrl} = 11{,}27\ puntos\ (DE = 2{,}10)$.
- Grupo experimental: $\bar{\boldsymbol{P}}\text{pre, exp} = 11{,}40\ puntos\ (DE = 2{,}05)$.

Estas medias cercanas a 11 puntos sobre 20 indican que los grupos eran comparables al inicio del estudio.

Tras la intervención, en el postest se observaron los siguientes resultados:

Grupo de control: $\bar{\boldsymbol{P}}\text{post, ctrl} = 13{,}07\ puntos\ (DE = 2{,}34)$, con una ganancia media de:

$$\bar{G}ctrl = 13{,}07 - 11{,}27 = 1{,}80\ puntos$$

Grupo experimental: $\bar{\boldsymbol{P}}\text{post, exp} = 17{,}33\ puntos\ (DE = 1{,}88)$, con una ganancia media de:

$$\bar{G}exp = 17{,}33 - 11{,}40 = 5{,}93\ puntos$$

La comparación de estas ganancias muestra una diferencia amplia y consistente a favor del grupo experimental:

$$\Delta\bar{G} = \bar{G}exp - \bar{G}ctrl = 5{,}93 - 1{,}80 = 4{,}13\ puntos$$

Los análisis estadísticos realizados sobre estas medias indican que esta diferencia no se debe al azar y que el impacto del entorno virtual en el aprendizaje es altamente significativo y de magnitud elevada.

Para describir la magnitud del efecto del entorno virtual se calculó un tamaño de efecto muy alto (aproximadamente $d = 2{,}20$), lo que, en términos prácticos, significa que el grupo experimental no solo mejora, sino que lo hace mucho más que el grupo de control en el dominio de la señalética.

- ***Niveles de desempeño alcanzados***

Con el fin de interpretar mejor los puntajes, se establecieron tres niveles de desempeño en la prueba de conocimientos (Tabla 29):

Tabla 29. Niveles de desempeño de la prueba de conocimientos

Nivel	**Puntos**
Bajo	0 – 11
Medio	12 – 16
Alto	17 – 20

Esto se puede expresar de manera funcional como:

$$Nivel(P) = \begin{cases} Bajo, 0 \leq P \leq 11 \\ Medio, 12 \leq P \leq 16 \\ Alto, 17 \leq P \leq 20 \end{cases}$$

En el grupo de control, la mayoría de estudiantes se ubicaba entre los niveles bajo y medio en el pretest; después de la intervención, se observó un ligero desplazamiento hacia el nivel medio, con un pequeño porcentaje que alcanzó el nivel alto. Esto refleja una mejora moderada atribuible a la enseñanza tradicional.

En el grupo experimental se produjo un cambio más marcado. Al inicio predominaban también los niveles bajo y medio; sin embargo, tras el uso del entorno virtual:

- El 66,7 % de los estudiantes alcanzó el nivel alto (17–20 puntos).

Este desplazamiento de la mayoría del grupo experimental hacia el nivel alto indica que el simulador no solo incrementó el puntaje promedio, sino que elevó de manera notable el grado de dominio de la señalética en los participantes.

- ***Percepción del entorno virtual***

Para complementar los datos de rendimiento académico, se aplicó al grupo experimental la encuesta de percepción sobre el entorno virtual descrita anteriormente. La escala utilizada fue tipo Likert de 5 puntos (1 = totalmente en desacuerdo; 5 = totalmente de acuerdo), e incluyó 10 ítems que evaluaron aspectos como facilidad de uso, claridad de las señales, realismo del entorno, utilidad de la retroalimentación, motivación, utilidad del sistema de puntuación e intención de recomendar y seguir utilizando el simulador.

La consistencia interna del cuestionario fue muy buena, con un coeficiente alfa de Cronbach:

$$\alpha = 0{,}86$$

Este valor indica que los ítems del cuestionario miden de manera coherente los aspectos de percepción del entorno virtual.

En cuanto a los resultados descriptivos (Tabla 28), las medias de los ítems se ubicaron entre 4,33 y 4,80 puntos, lo que refleja una alta aceptación de la herramienta. De forma particular, los estudiantes destacaron que:

- El simulador hizo la clase más dinámica e interesante (medias cercanas a 4,73 - 4,80).
- El entorno les ayudó a recordar mejor las señales de tránsito.
- Recomendarían el simulador a otros compañeros y les gustaría seguir utilizándolo como complemento de su formación.
- Percibieron el entorno como fácil de usar, con señales claras y un escenario suficientemente realista para practicar.

En síntesis, la percepción de los usuarios respalda los resultados de aprendizaje, mostrando que el entorno virtual es tanto efectivo como bien valorado por los estudiantes.

- ***Síntesis de hallazgos***

De manera integrada, los resultados permiten establecer que:

- Ambos grupos iniciaron con niveles similares de conocimiento de la señalética, lo que hace comparables sus trayectorias de aprendizaje.
- El grupo de control, que trabajó únicamente con la metodología tradicional, presentó una mejora moderada en sus puntajes y se concentró principalmente en el nivel de desempeño medio.

- El grupo experimental, que utilizó el entorno virtual además de la enseñanza tradicional, obtuvo una ganancia media de aprendizaje mucho mayor (5,93 puntos frente a 1,80), con una diferencia que no se explica por el azar y un tamaño de efecto muy alto.
- Tras la intervención, dos tercios del grupo experimental (66,7 %) alcanzaron el nivel alto de desempeño, lo que evidencia un incremento sustantivo en el dominio de la señalética.
- La encuesta de percepción mostró medias superiores a 4,3 sobre 5 y una confiabilidad elevada ($\alpha = 0{,}86$), confirmando que el entorno virtual es percibido como útil, claro, motivador y fácil de usar.

Con base en estos elementos, se concluye que el entorno virtual de simulación desarrollado contribuye de manera significativa a mejorar el aprendizaje de la señalética de tránsito, y se constituye en un recurso complementario valioso para la formación de aspirantes a conductores en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Los resultados evidenciaron que se logró identificar y documentar de manera clara los requerimientos técnicos necesarios para el funcionamiento del entorno virtual de simulación en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Se definieron características mínimas de hardware y software tanto para los equipos cliente (CPU de 4 núcleos, 8 GB de RAM y GPU compatible con OpenGL 3.3) como para el servidor institucional (16 GB de RAM, almacenamiento SSD, MySQL y red LAN ≥ 100 Mbps con medidas básicas de seguridad). Estos lineamientos se formalizaron en la Especificación de Requisitos de Software (ERS), lo que permitió comprobar la viabilidad técnica del proyecto en el contexto real de los laboratorios del sindicato y establecer una base sólida para el diseño e implementación del simulador.

Los resultados permitieron constatar que se desarrolló un entorno virtual interactivo que integra escenarios urbanos, señalética de tránsito acorde a la normativa ecuatoriana, un sistema de puntaje, registro de errores y retroalimentación inmediata para el estudiante. La selección de Godot Engine como motor principal, el uso de una base de datos MySQL para la telemetría y la implementación de una API REST en PHP permitieron construir una solución modular, mantenible y adaptable. La metodología SUM, aplicada de forma iterativa, facilitó el avance por fases (análisis, diseño, desarrollo, pruebas y ajuste), incorporando versiones beta que fueron refinadas con base en la experiencia de uso de estudiantes reales.

Los resultados del diseño cuasi–experimental pretest–postest con grupo de control y grupo experimental muestran que el entorno virtual tiene un impacto claramente positivo en el aprendizaje de la señalética de tránsito. El grupo experimental, que trabajó con el simulador además de la enseñanza tradicional, alcanzó una ganancia media de 5,93 puntos frente a 1,80 puntos del grupo de control y, al finalizar la intervención, el 66,7 % de sus integrantes se ubicó en el nivel alto de desempeño (17–20 puntos), mientras que el grupo de control se mantuvo mayoritariamente en el nivel medio. Estas diferencias, respaldadas por un tamaño de efecto muy elevado (aproximadamente d = 2,20), indican que el entorno virtual no solo incrementa el

puntaje promedio, sino que eleva de manera sustantiva el grado de dominio de la señalética en los aspirantes a conductores. La encuesta de percepción aplicada al grupo experimental evidenció una alta aceptación del entorno virtual, con medias superiores a 4,3 sobre 5 en todos los ítems e índices especialmente altos en aspectos como el carácter dinámico e interesante de la clase y la intención de recomendar y seguir utilizando el simulador (medias cercanas a 4,73–4,80). El coeficiente alfa de Cronbach obtenido ($\alpha = 0,86$) refleja una muy buena confiabilidad del cuestionario, lo que respalda la consistencia interna de los ítems y la solidez de los resultados. En conjunto, la evidencia de rendimiento y la percepción de los usuarios convergen en que el entorno virtual desarrollado constituye un recurso complementario eficaz y pertinente para fortalecer el aprendizaje de la señalética de tránsito en el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba.

Se concluye que el entorno virtual desarrollado constituye una herramienta tecnológica pertinente y eficaz para apoyar la formación vial de los aspirantes a conductores del Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba. Si bien no reemplaza la enseñanza tradicional ni las prácticas en la vía pública, sí ofrece un espacio seguro, controlado y repetible donde los estudiantes pueden reforzar la teoría, enfrentarse a situaciones de tránsito simuladas y recibir retroalimentación inmediata sobre su desempeño.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda que el Sindicato de Choferes Profesionales de Izamba garantice la disponibilidad y mantenimiento de la infraestructura tecnológica necesaria para el uso sostenido del entorno virtual, asegurando equipos y red que cumplan, como mínimo, con los requerimientos técnicos definidos para el usuario final y el servidor institucional, manteniendo actualizados sistemas operativos, controladores gráficos y gestor de base de datos, así como rutinas de respaldo periódico y mantenimiento preventivo. Desde el ámbito pedagógico, es conveniente integrar el simulador dentro de la planificación curricular de los módulos de normativa y señalética, evitando su uso únicamente en sesiones aisladas o demostrativas; para ello, se recomienda capacitar a los instructores en el manejo del entorno y de los reportes generados (puntajes, errores frecuentes, tiempo de práctica), de manera que puedan utilizarlos como insumo para la retroalimentación en clase y programar varias sesiones

distribuidas a lo largo del curso, de forma que el entorno virtual se consolide como espacio de práctica continua y refuerzo. Finalmente, se sugiere que, en la medida en que los recursos institucionales lo permitan, se amplíen progresivamente los escenarios y situaciones contempladas en el simulador incluyendo condiciones climáticas variables, diferentes tipos de intersecciones, zonas escolares y tramos de carretera y se impulsen nuevas investigaciones con muestras más amplias y seguimientos a mediano plazo que comparen el desempeño práctico de estudiantes que han utilizado el entorno virtual frente a quienes no lo han hecho, con el fin de validar y generalizar los resultados obtenidos y verificar si las mejoras en el conocimiento se traducen en conductas de conducción más seguras en la realidad.

Como línea de trabajo futuro, se recomienda evolucionar el entorno virtual hacia una plataforma extensible que permita al personal autorizado del Sindicato administrar de forma autónoma los recursos educativos integrados en el simulador. En particular, se sugiere implementar módulos de gestión de contenido que faciliten la actualización de imágenes, la incorporación de nuevas señaléticas de tránsito conforme a cambios normativos, la carga de videos explicativos y la configuración de bancos de preguntas o escenarios específicos sin requerir modificaciones al código fuente. El sistema podrá mantenerse alineado con la normativa vigente, adaptarse a distintos contextos institucionales y conservar su vigencia pedagógica en el tiempo, abriendo además la posibilidad de integrarlo con otros sistemas académicos o plataformas de seguimiento del rendimiento estudiantil.

Respecto a la metodología SUM utilizada en el desarrollo del proyecto, se recomienda considerar su aplicación en otros ámbitos y tipos de soluciones educativas más allá del entorno planteado en esta tesis. La estructura iterativa e incremental de SUM, centrada en la definición de requisitos, el diseño participativo con usuarios reales, la validación continua de prototipos y la evaluación de resultados, la convierte en una alternativa pertinente para proyectos de desarrollo de software educativo, simuladores en diferentes disciplinas, aplicaciones interactivas para la formación técnica y sistemas de apoyo al aprendizaje en contextos formales y no formales. Se sugiere que futuras investigaciones exploren el uso de SUM en otros escenarios, por ejemplo, capacitación industrial, formación en seguridad ocupacional o educación básica y bachillerato comparando su desempeño frente a otras metodologías ágiles o de diseño

instruccional, con el fin de fortalecer la evidencia sobre su aporte en la calidad de los productos desarrollados y en la pertinencia pedagógica de las soluciones tecnológicas resultantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. von Beesten and A. Bresges, "The effectiveness of teaching methods for preparing teacher education students to teach road safety-related content," *Front Educ (Lausanne)*, vol. 9, 2024, doi: 10.3389/feduc.2024.1471022.

[2] V. Aleksić, "Prototyping Virtual Reality Game for Educating Novice Drivers in Road Traffic Safety," Singidunum University, Jul. 2024, pp. 212–218. doi: 10.15308/sinteza-2024-212-218.

[3] İ. ÖZTEL and C. ÖZ, "Traffic Education for Inexperienced Drivers with Virtual Driving Simulator," *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 82–88, Aug. 2019, doi: 10.35377/saucis.02.02.593888.

[4] J. Rehm and I. Reshodko, "A virtual driving instructor that assesses driving performance on par with human experts."

[5] L. Topol, "USE AND ACCESS POSSIBILITIES IN THE FIELD OF TRAINING FUTURE DRIVERS USING A VEHICLE SIMULATOR," in *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, Czech Technical University in Prague, Dec. 2024, pp. 121–124. doi: 10.14311/APP.2024.51.0121.

[6] M. S. Petersen, T. Bjørner, H. M. Qureshi, A. L. Johansen, G. C. D. A. Walloe, and S. S. Andersen, "VR traffic simulations for enhancing the driving theory for student drivers," in *ICISS 2024 - Proceedings of the 7th International Conference on Information Science and Systems*, Association for Computing Machinery, Inc, Jan. 2025, pp. 198–203. doi: 10.1145/3700706.3700738.

[7] M. Wang, Z. Zhang, and G. H. Yang, "Incorporating Voice Instructions in Model-Based Reinforcement Learning for Self-Driving Cars," Jun. 2022, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2206.10249

[8] J. Skjermo, I. Roche-Cerasi, D. Moe, and R. Opland, "Evaluation of Road Safety Education Program with Virtual Reality Eye Tracking," *SN Comput Sci*, vol. 3, no. 2, Mar. 2022, doi: 10.1007/s42979-022-01036-w.

[9] G. A. Leon-Paredes *et al.*, "Virtual reality and data analysis based platform for urban mobility awareness as a tool for road education," in *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020. doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272084.

[10] D. Vankov and D. Jankovszky, "Effects of using headset-delivered virtual reality in road safety research: A systematic review of empirical studies," Oct. 01, 2021, *KeAi Communications Co.* doi: 10.1016/j.vrih.2021.05.005.

[11] K. Szczurowski and M. Smith, "'Woodlands'-A Virtual Reality Serious Game Supporting Learning of Practical Road Safety Skills," in *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference, GEM 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2018, pp. 427–435. doi: 10.1109/GEM.2018.8516493.

[12] Y. Q. Cheng, S. Mansor, J. J. Chin, and H. A. Karim, “Driving Simulator for Drivers Education with Artificial Intelligence Traffic and Virtual Reality: a Review,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 483–494. doi: 10.1007/978-981-16-8515-6_38.

[13] S. Kim, S. Calvert, and M. Hagenzieker, “Exploring the Learning Strategies of Drivers using Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) 2 3.” [Online]. Available: https://ssrn.com/abstract=4974088

[14] M. Murtaza, C.-T. Cheng, M. Fard, and J. Zeleznikow, “Preparing Drivers for the Future: Evaluating the Effects of Training on Drivers’ Performance in an Autonomous Vehicle Landscape.” [Online]. Available: https://ssrn.com/abstract=4454046

[15] G. B. Saetren, J. R. Vaag, M. Saghafian, J. P. Wigum, and R. Helde, “Teaching advanced technology (ADAS) and use of touch screens in driver training in Norway,” *Cognition, Technology and Work*, vol. 26, no. 3, pp. 523–534, Sep. 2024, doi: 10.1007/s10111-024-00766-6.

[16] S. von Beesten and A. Bresges, “The effectiveness of teaching methods for preparing teacher education students to teach road safety-related content,” *Front Educ (Lausanne)*, vol. 9, 2024, doi: 10.3389/feduc.2024.1471022.

[17] A. Ghosh Tusti, A. K. Dutta, S. Aaqib Javed, and S. Das, “Driving Education Advancements of Novice Drivers: A Systematic Literature Review.”

[18] J. Rehm, I. Reshodko, S. Zimmermann Børresen, and O. E. Gundersen, “The Virtual Driving Instructor: Multi-Agent System Collaborating via Knowledge Graph for Scalable Driver Education,” 2024. [Online]. Available: www.aaai.org

[19] A. Mohammadi, M. S. B. Cherakkatil, P. Y. Park, M. Nourinejad, and A. Asgary, “An Open-Source Virtual Reality Traffic Co-Simulation for Enhanced Traffic Safety Assessment,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 17, Sep. 2025, doi: 10.3390/app15179351.

[20] X. Yan, Q. Xue, L. Ma, and Y. Xu, “Driving-simulator-based test on the effectiveness of auditory red-light running vehicle warning system based on time-to-collision sensor,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 2, pp. 3631–3651, Feb. 2014, doi: 10.3390/s140203631.

[21] A. Riegler, A. Riener, and C. Holzmann, “Virtual reality driving simulator for user studies on automated driving,” in *Adjunct Proceedings - 11th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2019*, Association for Computing Machinery, Inc, Sep. 2019, pp. 502–507. doi: 10.1145/3349263.3349595.

[22] S. M. Taheri, K. Matsushita, and M. Sasaki, “Virtual Reality Driving Simulation for Measuring Driver Behavior and Characteristics,” *J Transp Technol*, vol. 07, no. 02, pp. 123–132, 2017, doi: 10.4236/jtts.2017.72009.

[23] N. Ali, M. A. Ansari, D. Khan, H. Rahman, and S. Ullah, “Virtual Reality Driving Simulator: Investigating the Effectiveness of Image-Arrow Aids in Improving the Performance of Trainees,” 2025, doi: 10.3390/futuretransp5040130.

[24] Z. Christoforou, A. Kallianiotis, and N. Farhi, “Design, Development, and Validation of Driving Simulators for Enhancing the Safety and Sustainability of Electric Microvehicles,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 7, Apr. 2025, doi: 10.3390/su17073260.

[25] Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. *Quito, Ecuador, 10 ago. 2021*. [En línea]. Disponible en: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/08/LOTAIP_6_Ley-Organica-de-Transporte-Terrestre-Transito-y-Seguridad-Vial-2021.pdf.

ANEXOS

Anexo A. Encuesta a los estudiantes

1. **¿Has escuchado hablar sobre el uso de entornos virtuales para el aprendizaje?**

- Sí
- No

2. **¿Has utilizado alguna vez un entorno virtual (como simulaciones o juegos) para aprender o practicar alguna habilidad técnica?**

- Sí
- No

3. **Considero que un entorno virtual sería útil para aprender las señales de tránsito.**

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

4. **Me sentiría más seguro en un examen práctico si antes pudiera practicar las señales de tránsito en un entorno virtual.**

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

5. Un entorno virtual podría ayudarme a practicar la identificación de señales de tránsito sin riesgos reales.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

6. El uso de un entorno virtual haría el aprendizaje de las señales más dinámico e interactivo que los métodos tradicionales.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

7. Me gustaría utilizar un entorno virtual como herramienta complementaria en mi formación como conductor.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

8. Creo que un entorno virtual podría ayudarme a recordar y diferenciar mejor las señales preventivas, reglamentarias e informativas.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

9. Considero que el uso de un entorno virtual para aprender señales de tránsito mejoraría mi rendimiento en situaciones prácticas de conducción.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

10. ¿Cuál crees que sería el principal beneficio de utilizar un entorno virtual para aprender las señales de tránsito?

- Práctica sin riesgo
- Flexibilidad en el aprendizaje (horarios, repeticiones)
- Aprendizaje más dinámico y divertido
- Otro (especificar): _____

11. ¿Te gustaría que el entorno virtual incluya un tutorial interactivo al inicio para aprender cómo usarlo?

- Sí, un tutorial completo
- Sí, un tutorial básico
- No, prefiero aprender practicando
- Indiferente

12. ¿Con qué frecuencia te gustaría recibir retroalimentación en el entorno virtual?

- Al final de cada práctica
- Durante toda la práctica (en tiempo real)
- Solo si cometo un error
- Prefiero no recibir retroalimentación

13. ¿Qué tipo de sonido prefieres en el entorno virtual?

- Sin música, solo sonidos del tráfico y señales
- Música ambiental suave
- Sonidos realistas del entorno vial
- Otro (especificar): _____

14. ¿Con qué frecuencia te gustaría practicar las señales de tránsito en un entorno virtual?

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Solo durante el periodo de clases

15. ¿Qué te gustaría que suceda si cometes un error al identificar una señal en el entorno virtual?

- Mostrar una explicación inmediata sobre el error
- Oportunidad de corregir el error sin intervención
- Repetir el paso o la simulación desde el principio
- Ninguna reacción, solo continuar

16. ¿Qué aspecto visual crees que es más importante para ti en el entorno virtual?

- Alta calidad gráfica de las señales y escenarios
- Un entorno inmersivo que simule una vía real
- Una interfaz clara y sencilla sin distracciones
- Otro (especificar): _____

Anexo B. Entrevista: Requerimientos y necesidades sobre el aprendizaje de las señaléticas de tránsito

1. Sobre la enseñanza actual

- ¿Cómo se enseña actualmente a los estudiantes las señales de tránsito en el sindicato?
- ¿Qué recursos o materiales utilizan con mayor frecuencia (libros, diapositivas, videos, prácticas en la vía, etc.)?
- ¿Qué considera que funciona bien en la enseñanza actual de las señales?
- ¿Qué limitaciones o dificultades enfrentan los estudiantes al aprender las señaléticas?

2. Sobre el uso de tecnología y simuladores

- ¿El sindicato cuenta actualmente con simuladores o recursos digitales para la enseñanza de tránsito?
- En caso de que sí, ¿qué ventajas y desventajas han encontrado en esos recursos?
- Si no los tienen, ¿qué tipo de simulador creen que sería más útil (realidad virtual, juegos interactivos, entornos 3D, etc.)?

3. Sobre el aprendizaje de los estudiantes

- ¿Qué observan en los estudiantes al momento de aprender las señaléticas?
- ¿Qué errores comunes cometen los estudiantes al identificar o aplicar las señales de tránsito?
- ¿Cómo reaccionan los estudiantes cuando deben aplicar lo aprendido en un examen práctico o en la conducción real?
- ¿Qué factores considera que dificultan que los estudiantes memoricen o comprendan mejor las señales?

4. Requerimientos para el entorno virtual

- Si se implementa un entorno virtual para aprender señales, ¿qué aspectos considera indispensables que tenga?

- ¿Qué debería hacer el software cuando un estudiante no identifica correctamente una señal de tránsito (ejemplo: pasa en rojo, ignora una señal de advertencia, etc.)?
- ¿Qué tipo de retroalimentación considera más útil: explicaciones inmediatas, correcciones paso a paso o repeticiones de la práctica?
- ¿Qué señales o situaciones de tránsito deberían priorizarse en el entorno virtual (preventivas, reglamentarias, contravenciones, etc.)?
- ¿Qué tan realista debería ser el entorno (escenarios de ciudad, carretera, prácticas en un aula virtual, etc.)?

5. Aspectos pedagógicos y de implementación

- ¿Qué papel debería tener el docente cuando los estudiantes usen el entorno virtual: guía, evaluador, observador?
- ¿Cómo debería integrarse este software en las clases actuales (como práctica complementaria, como examen, como sustituto de material escrito, etc.)?
- ¿Qué beneficios esperan lograr con el uso del mundo virtual en comparación con la enseñanza tradicional?

6. Cierre

- Desde su experiencia, ¿cuál considera que es el mayor problema actual en la enseñanza de señales de tránsito que debería solucionarse con este entorno virtual?
- ¿Qué recomendaciones daría para que esta herramienta realmente apoye a docentes y estudiantes?

Anexo C. Especificación de Requisitos de Software

El presente anexo constituye la **Especificación de Requisitos de Software (ERS)** del **mundo virtual interactivo para el aprendizaje de señaléticas de tránsito**, diseñado para los estudiantes y aspirantes del **Sindicato de Choferes de Izamba**. Esta especificación sigue las directrices del estándar **ANSI/IEEE 830-1998**, con el fin de establecer de manera formal y clara los **requisitos funcionales y no funcionales** que debe cumplir el sistema.

El proyecto se enmarca dentro del ámbito educativo y tecnológico, utilizando el motor **Godot 4** y una **base de datos MySQL**, con control e interacción mediante **teclado y mouse**, sin requerir dispositivos de realidad virtual.

Propósito

El propósito de este documento es definir los requisitos técnicos, funcionales y operativos del entorno virtual desarrollado para la enseñanza y práctica del reconocimiento, interpretación y aplicación de señaléticas de tránsito.
El sistema tiene como meta reforzar el aprendizaje teórico con experiencias interactivas dentro de un entorno digital, promoviendo la toma de decisiones seguras y el cumplimiento de normas viales, en un espacio sin riesgos ni costos adicionales.

Alcance

El entorno virtual está diseñado para simular calles, avenidas e intersecciones donde el usuario puede desplazarse libremente, observar la señalética reglamentaria, preventiva e informativa, y recibir retroalimentación inmediata ante sus decisiones.
El sistema permitirá:

- Evaluar el reconocimiento y cumplimiento de señales.
- Registrar puntuaciones, errores y aciertos por sesión.
- Generar informes almacenados en MySQL para seguimiento del desempeño.

Este entorno busca complementar los métodos tradicionales de enseñanza en el sindicato, fomentando un aprendizaje experiencial, activo y seguro sobre la normativa de tránsito ecuatoriana.

Personal involucrado

- **Estudiantes / aspirantes a conductores:** usuarios finales del entorno de simulación.
- **Docentes / instructores de tránsito:** usuarios que consultan reportes, realizan seguimiento y evalúan desempeño.
- **Administrador / soporte técnico:** responsable de gestionar catálogos de señales, usuarios y copias de seguridad.

Referencias

Documento	Referencia	Descripción
IEEE Std 830-1998	IEEE	Estándar internacional para la especificación de requisitos de software.
Normativa ecuatoriana de señalización vial	ANT / INEN	Base técnica para las señales incluidas en el entorno virtual.
Godot Engine 4.2 Documentation	Godot Docs	Manual técnico del motor de desarrollo.

Visión general del documento

Este anexo se organiza en cuatro bloques principales:

1. **Descripción general**: contexto operativo, actores, alcance y supuestos.
2. **Requisitos funcionales (RF)** del sistema.
3. **Requisitos no funcionales (RNF)**: rendimiento, seguridad, usabilidad, mantenibilidad.
4. **Criterios de verificación, trazabilidad y matriz resumen**.

Descripción general del sistema

Perspectiva del producto

El sistema se concibe como una **plataforma de simulación 3D** compuesta por tres capas:

- **Cliente de simulación (Godot 4):** interfaz principal que renderiza el entorno urbano, recibe entradas de teclado/mouse y muestra HUD, retroalimentación y puntuación.
- **API REST (PHP):** capa intermedia que expone servicios HTTP para registrar sesiones, puntajes, eventos y recuperar reportes.
- **Base de datos MySQL:** almacén de usuarios, sesiones, intentos, señales y eventos de desempeño.

Alcance detallado, actores y supuestos

Alcance funcional principal

Plataforma de simulación 3D para:

- (a) Aprendizaje guiado de señalética (preventiva, reglamentaria, informativa).
- (b) Práctica en escenarios urbanos controlados con retroalimentación inmediata.
- (c) Evaluación con puntaje, registro de desempeño y desglose por tipo de señal.
- (d) Consulta docente de resultados y seguimiento de cohortes

Supuestos y restricciones

- No se utilizan cascos de realidad virtual ni periféricos especiales: interacción estándar **teclado + mouse**.
- PCs con **Windows 10 o superior**, conectadas a una **LAN institucional ≥ 100 Mbps**.
- Señalética conforme a la **normativa ecuatoriana** (catálogo institucional).
- API y base de datos alojadas en **servidor institucional**, con copias de seguridad periódicas.

Resumen de requerimientos funcionales y no funcionales

Requerimientos funcionales (RF)

ID	Nombre del requerimiento	Descripción	Prioridad
RF01	Carga de señaléticas	El sistema debe cargar y mostrar la señalética reglamentaria, preventiva e informativa.	Alta
RF02	Detección de acción del usuario	El sistema debe registrar las acciones del usuario (acelerar, frenar, girar, detenerse) y compararlas con la norma aplicable.	Alta
RF03	Retroalimentación inmediata	El sistema debe mostrar en pantalla los errores o aciertos mediante mensajes y cambios visuales.	Alta
RF04	Sistema de puntuación	El entorno debe asignar puntos según el cumplimiento de las reglas y restarlos ante infracciones.	Alta
RF05	Registro en base de datos	El sistema debe registrar cada sesión, puntuación y tiempo de práctica en la base de datos MySQL.	Alta
RF06	Reporte de desempeño	El sistema debe generar un resumen con estadísticas del usuario (aciertos, errores, tiempo total).	Media
RF07	Reinicio de escenario	El usuario debe poder reiniciar la simulación en cualquier momento.	Media
RF08	Módulos de práctica	El sistema debe permitir seleccionar módulos temáticos (señales reglamentarias, preventivas, informativas).	Media

Requerimientos no funcionales (RNF)

ID	Nombre del requerimiento	Descripción	Prioridad
RNF01	Usabilidad	La interfaz debe ser intuitiva, clara y con textos visibles desde cualquier resolución.	Alta
RNF02	Rendimiento	El entorno debe mantener al menos 30 FPS en equipos institucionales estándar.	Alta
RNF03	Compatibilidad	El sistema debe ejecutarse en PC sin hardware VR, bajo Windows 10 o superior.	Alta
RNF04	Confiabilidad	Los datos deben almacenarse correctamente en la base de datos, incluso tras fallos temporales de conexión.	Alta
RNF05	Seguridad de datos	Solo usuarios registrados (rol estudiante o instructor) pueden acceder o modificar datos.	Alta
RNF06	Escalabilidad	La base de datos debe permitir registrar múltiples usuarios y sesiones sin pérdida de rendimiento.	Media

Gestión de acceso y perfiles

RF-01. Autenticación básica de estudiantes (Must)

El sistema debe permitir el inicio de sesión de estudiantes mediante un identificador simple (nombre/paralelo o usuario institucional) y registrar la sesión activa en la base de datos.

RF-02. Perfil docente / panel de resultados (Must)

El sistema debe permitir a usuarios docentes listar cohortes, filtrar por curso y fecha, y visualizar resultados individuales y agregados (puntajes, errores frecuentes, tiempo de práctica).

RF-03. Administración de contenidos (Should)

El sistema debe ofrecer un módulo básico para la gestión del catálogo de señales y escenarios (crear, actualizar, desactivar), manteniendo versiones y vigencia de contenidos.

Aprendizaje guiado de señalética

RF-04. Módulo "Aprender" (Must)

El sistema debe mostrar cada señal con su nombre, categoría (preventiva, reglamentaria, informativa), imagen/ícono y una breve explicación. El estudiante debe poder navegar entre señales (siguiente/anterior) y el tiempo de estudio debe registrarse.

RF-05. Tutorial de controles (Must)

Antes de ingresar a la simulación, el sistema debe presentar una pantalla de tutorial con los controles básicos (WASD, freno, cámara). El estudiante debe confirmar su comprensión; el tutorial no debe demorar más de 2 minutos.

Simulación y práctica

RF-06. Escenario urbano 3D (Must)

El sistema debe cargar un mapa urbano con intersecciones, semáforos, pasos peatonales y señalética fiel a la normativa, manteniendo estabilidad de FPS en los equipos objetivo.

RF-07. Conducción con teclado/mouse (Must)

El sistema debe permitir el movimiento del vehículo con teclado (WASD u otro esquema definido), incluir un HUD con velocidad y controlar colisiones básicas, registrando eventos relevantes (por ejemplo, "no detenerse ante STOP").

RF-08. Retroalimentación en tiempo real (Must)

El sistema debe mostrar mensajes breves en el HUD cuando el estudiante comete un acierto o error, reflejando penalizaciones y recompensas en el puntaje visible.

RF-09. Variaciones didácticas (Should)

El sistema debe ofrecer variaciones simples, como condiciones día/noche y densidad ligera de tráfico simulado, para robustecer el reconocimiento de señales en diferentes contextos.

RF-19. Reinicio de escenario (detalle de RF07 resumen) (Should)

El sistema debe permitir al estudiante reiniciar la simulación desde el punto de inicio

o desde puntos de control predefinidos, sin necesidad de cerrar la aplicación.

Evaluación y analítica

RF-10. Modo "Test" con puntaje (Must)

El sistema debe ofrecer un modo de evaluación en el que el estudiante recorre una ruta con un número definido de situaciones. Al final, se calcula un puntaje global y un desglose por tipo de señal, indicando un estado "Aprobado" o "Por reforzar".

RF-11. Registro en MySQL (telemetría) (Must)

El sistema debe registrar en MySQL las entidades de Usuarios, Sesiones, Intentos, Señales y Eventos. Las inserciones se harán vía API REST con transacciones y marcas de tiempo (timestamps) y claves foráneas coherentes.

RF-12. Reporte docente (Must)

El sistema debe permitir a los docentes visualizar los resultados por estudiante (puntaje, errores frecuentes, tiempo aproximado de reacción) y por cohorte (medias, distribución de niveles).

RF-13. Pre/Post prueba (Should)

El sistema debe apoyar la aplicación de dos pruebas comparables (pretest/postest) y generar un reporte de mejora porcentual, incluyendo una recomendación automática de refuerzo según el desempeño.

Administración y soporte

RF-14. Catálogo de señales ecuatorianas (Must)

El sistema debe permitir la carga del set institucional de señales, donde cada ítem incluya categoría, textura, escala y distancia de lectura adecuada en el escenario.

RF-15. Copias de seguridad (Must)

El sistema debe permitir la exportación diaria de la base de datos (dump) y mantener logs básicos de API, con verificación de restauración en un ambiente de prueba.

RF-16. Bitácora de sistema (Should)

El sistema debe mantener un log de errores tanto en el cliente (Godot) como en el servidor (PHP), indicando severidad, mensaje, traza y fecha.

RF-17. Notificaciones básicas (Could)

El sistema puede mostrar avisos dentro de la propia aplicación (no vía correo electrónico) para recordar prácticas pendientes o reforzar temas fallados.

RF-18. Interoperabilidad mínima (Won't por ahora)

En esta versión piloto no se integrará automáticamente con otros sistemas académicos, pero se contempla la posibilidad de exportar resultados en CSV para carga manual futura.

RF-20. Módulos de práctica (detalle de RF08 resumen) (Should)

El sistema debe permitir seleccionar módulos temáticos (señales reglamentarias, preventivas, informativas) tanto en el modo "Aprender" como en el modo "Test".

Requerimientos no funcionales (detalle*)*

Rendimiento y capacidad

RNF-01. FPS objetivo (Must)

El sistema debe mantener ≥ 45 FPS sostenidos en equipos de gama media del laboratorio durante escenas típicas.

RNF-02. Latencia de API (Must)

Las operaciones CRUD (registro de sesión/eventos) deben ejecutarse en < 300 ms en LAN; en caso de pérdida temporal de conectividad, el cliente debe almacenar en cola eventos para sincronizarlos después.

RNF-03. Consumo de recursos (Must)

El consumo de memoria RAM del cliente no debe exceder 2,5 GB y el uso medio de CPU debe mantenerse por debajo del 60 % en el equipo objetivo.

Confiabilidad y disponibilidad

RNF-04. Integridad transaccional (Must)

Las operaciones de escritura en MySQL deben confirmarse explícitamente (commit). Ante fallas momentáneas, el sistema debe reintentar la operación sin pérdida de datos de sesión.

RNF-05. Tolerancia a fallos (Should)

Si la API REST no está disponible temporalmente, el cliente debe cachear localmente los eventos importantes y reenviarlos automáticamente al restablecer la conectividad.

Usabilidad y accesibilidad

RNF-06. Curva de aprendizaje baja (Must)

Un usuario novato debe ser capaz de completar el tutorial y ejecutar su primera práctica en la simulación en ≤ 2 minutos sin asistencia adicional.

RNF-07. Lecturabilidad y HUD (Must)

La tipografía, el tamaño de texto y el contraste deben permitir la lectura cómoda de la información en distintas resoluciones. El HUD no debe mostrar más de dos mensajes simultáneos para evitar sobrecarga cognitiva.

RNF-08. Configuración básica de accesibilidad (Should)

El sistema debe ofrecer opciones para ajustar volumen de efectos, desactivar música y reducir efectos visuales (como motion blur) para estudiantes sensibles a la fatiga visual.

Seguridad y datos

RNF-09. Autenticación y roles (Must)

El sistema debe soportar roles diferenciados (estudiante, docente, administrador). Los endpoints de la API deben protegerse con sesiones o tokens; las credenciales no deben exponerse en el cliente.

RNF-10. Protección de datos (Must)

La base de datos debe estar protegida mediante control de acceso. Los reportes destinados a terceros deben anonimizar los datos personales de estudiantes.

Mantenibilidad y escalabilidad

RNF-11. Arquitectura modular (Must)

Debe existir una separación clara entre cliente (Godot), API (PHP/REST) y datos (MySQL), de modo que se puedan actualizar componentes de forma independiente.

RNF-12. Extensibilidad de contenidos (Must)

El sistema debe permitir agregar nuevas señales y escenarios mediante archivos de catálogo (por ejemplo, JSON, tablas en BD) y recursos gráficos, sin necesidad de recompilar el motor.

RNF-13. Versionado y documentación (Should)

Debe existir un repositorio con ramas y versiones etiquetadas, junto con un README técnico que documente estructura de BD, endpoints, procedimiento de build/export de Godot y pasos de despliegue.

Compatibilidad y portabilidad

RNF-14. Plataforma objetivo (Must)

El sistema debe ejecutarse de forma estable en Windows 10 o superior, sin dependencias de instalación complejas para el usuario final.

RNF-15. Red institucional (Must)

El sistema debe operar correctamente en la red LAN institucional (≥ 100 Mbps) y ofrecer un modo de funcionamiento mínimo en "solo local" en caso de indisponibilidad temporal del servidor.

Interfaces del sistema

Interfaces de usuario

El usuario interactúa a través de:

- HUD con puntuación, faltas y tiempo.
- Mensajes de texto emergentes de advertencia o éxito.

- Menú principal con opciones de módulo y configuración.
- Reporte de resultados con opción de exportar a archivo.

Interfaces de hardware

- Teclado: control de movimiento (adelante, atrás, izquierda, derecha).
- Mouse: navegación y selección en menús.
- PC estándar con 4 GB de RAM y GPU compatible con OpenGL 3.3 o superior.

Interfaces de software

- Godot 4 Engine: desarrollo principal.
- PHP API REST: puente de comunicación entre el entorno y MySQL.
- MySQL: almacenamiento de usuarios, sesiones y resultados.
- **Herramientas de desarrollo:** Visual Studio Code, Laragon/XAMPP, Git/GitHub.

Trazabilidad con los objetivos del proyecto

Objetivo específico 1: Identificar los requerimientos técnicos para el desarrollo del entorno virtual de simulación.

- Se cumple mediante la presente ERS (C.2, C.3, C.4 y C.5), que formaliza RF y RNF, contexto operativo y criterios de prueba.

Objetivo específico 2: Investigar y seleccionar herramientas adecuadas (Godot 4, PHP/REST, MySQL, teclado/mouse).

- Se refleja en los apartados de interfaces y arquitectura (C.2, C.6.1).

Objetivo específico 3: Desarrollar el entorno virtual y habilitar medición de impacto (pre/post).

- Vinculado con RF-04, RF-06–RF-13 y RNF-01–RNF-15, que soportan la simulación, la evaluación y la analítica.

Criterios globales de verificación (pruebas)

- **Prueba funcional end-to-end (Must):**
  Estudiante inicia sesión → ve el tutorial → realiza una práctica en el entorno → ejecuta un test → recibe puntaje → los datos se registran en MySQL → el docente puede ver el resultado en su panel.
- **Prueba de desempeño (Must):**
  Medir FPS y uso de recursos en al menos tres equipos de referencia del laboratorio; verificar cumplimiento de RNF-01 y RNF-03.
- **Prueba de resiliencia (Should):**
  Interrumpir la conexión de red durante 60 segundos mientras el estudiante practica; el cliente debe cachear los eventos y sincronizarlos al recuperar conectividad (RF-11, RNF-05).
- **Prueba de usabilidad rápida (Must):**
  Al menos 10 estudiantes novatos completan el tutorial y realizan su primera práctica sin ayuda directa; tasa de éxito ≥ 90 % (RNF-06).
- **Prueba de seguridad básica (Must):**
  Verificar que los accesos a reportes docentes y funciones administrativas estén restringidos por rol, y que endpoints críticos no sean accesibles sin sesión o token válido (RNF-09, RNF-10).

Matriz resumen

ID	Requisito	Tipo	Prioridad	Verificación
RF-06	Escenario urbano 3D con señalética fiel	Funcional	Must	Recorrido de control + checklist de señales
RF-10	Modo Test con puntaje y desglose	Funcional	Must	Resultado final + registro en BD
RF-11	Registro transaccional vía REST/MySQL	Funcional	Must	Prueba de inserts con commit y reintentos
RNF-01	≥ 45 FPS en PCs del laboratorio	No func.	Must	Benchmark en escena estándar
RNF-11	Arquitectura modular cliente/API/BD	No func.	Must	Revisión de código y despliegue separado