



E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE  
TELECOMUNICACIÓN. MENCIÓN EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

Estudio de la eficiencia en la conducción mediante  
un simulador basado en Unity

Autor:

**D. Juan Núñez Briso-Montiano**

Tutor:

**D. David González Ortega**

Valladolid, 22 de Julio de 2016

---

**TÍTULO:** Estudio de la eficiencia en la conducción mediante un simulador basado en Unity

**AUTOR:** D. Juan Núñez Briso-Montiano

**TUTOR:** D. David González Ortega

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

---

**TRIBUNAL**

---

**PRESIDENTE:** Dña. Míriam Antón Rodríguez

**VOCAL:** D. Mario Martínez Zarzuela

**SECRETARIO:** D. David González Ortega

**SUPLENTE:** D. Francisco Javier Díaz Pernas

**SUPLENTE:** D. José Fernando Díez Higuera

---

---

**FECHA:** 22/07/2016

**CALIFICACION:**

---

## **Resumen de TFG**

La meta de este Trabajo de Fin de Grado es el estudio de hábitos de conducción a través de un simulador virtual desarrollado con la plataforma Unity 3D, donde mediante escenarios controlados se pondrá a prueba al usuario en un doble ámbito. Por un lado se le aporta la educación vial que ofrece cualquier otro simulador, necesaria para mantener un nivel adecuado de precaución en las carreteras y minimizar el número de accidentes. Por otro lado se lleva a cabo un exhaustivo análisis del gasto de combustible realizado en todo momento y de cómo es afectado por los distintos factores, tanto externos como internos (Estado físico del conductor y del coche).

Para comparar los datos recogidos, se ha recreado a escala parte de un tramo existente en la realidad, de tal manera que se puedan realizar idénticos recorridos para poder contrastar las cifras extraídas. Por último, a fin de ofrecer una experiencia más enriquecedora se integra el uso del periférico Logitech G27 Racing Wheel, compuesto por volante, pedales y caja de cambios.

## **Palabras clave:**

*Unity 3D, simulador, conducción, eficiencia, consumo.*

## **Abstract**

This Final Project is aimed at studying different driving habits using a virtual simulator developed with the Unity 3D platform, so that the User is challenged through controlled scenarios to perform a double task. On one hand, proper road-safety education is offered, as any other simulator can do, to keep a high level of awareness on the road and thus minimize the number of accidents. On the other hand, a thorough real-time analysis is carried out dealing with fuel/petrol use and how that use is influenced by different elements, either external or internal (the driver's physical shape or the condition of the car).

To compare our gathered data, an already existent section has been reproduced on scale so that the same laps can be driven in order to contrast the obtained results. Lastly, a Logitech G27 Racing Wheel device (including a steering wheel, a set of pedals and a gearbox) has been used to grant a more enriching experience.

## **Keywords**

*Unity 3D, simulator, driving, efficiency, fuel consumption.*

## **Agradecimientos**

*“A mi familia, por la confianza depositada durante todos estos años de carrera.”*

*“A mi gran amigo Óscar, a quien debo parte de este proyecto.”*

*“A mi tutor David, por brindarme esta oportunidad.”*

# Índice

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                       | 8  |
| 1.1. Motivación .....                                       | 8  |
| 1.2. Objetivos .....                                        | 8  |
| 1.3. Medios .....                                           | 9  |
| 1.4. Estructura, fases y métodos .....                      | 9  |
| 2. Seguridad vial.....                                      | 11 |
| 2.1. Los Accidentes de tráfico .....                        | 11 |
| 2.2. Educación vial.....                                    | 13 |
| 2.2.1. Factores que intervienen en la circulación .....     | 13 |
| 2.2.2. Señalización y marcas viales.....                    | 14 |
| 2.2.3. Progresión normal .....                              | 15 |
| 2.2.4. La velocidad y la distancia de seguridad.....        | 16 |
| 2.2.4. Maniobras.....                                       | 18 |
| 2.3. Impacto de los simuladores en la educación vial.....   | 21 |
| 3. Conducción eficiente.....                                | 24 |
| 3.1. Ventajas de una conducción eficiente.....              | 24 |
| 3.2. Análisis y clasificación de Factores.....              | 25 |
| 3.3. Impacto en el consumo .....                            | 27 |
| 4. Simuladores de conducción existentes en el mercado. .... | 31 |
| 4.1. DriveSIM .....                                         | 31 |
| 4.2. City Car Driving .....                                 | 33 |
| 4.3. Simescar.....                                          | 34 |
| 4.4. SmartSIM.....                                          | 36 |
| 4.5. Comparativa entre los simuladores de conducción.....   | 37 |
| 5. Tecnologías existentes.....                              | 39 |
| 5.1. Motores gráficos 3D .....                              | 39 |
| 5.1.1. Unity 5.....                                         | 39 |
| 5.1.2. Source 2 Engine .....                                | 41 |
| 5.1.3. CryEngine 3.....                                     | 42 |
| 5.1.4. Unreal Engine 4.....                                 | 43 |
| 5.1.5. Comparativa entre los motores gráficos 3D.....       | 45 |
| 5.2. Software de modelado .....                             | 46 |
| 5.2.1. 3ds Max.....                                         | 46 |
| 5.2.2. Blender .....                                        | 47 |
| 5.2.3. Maya.....                                            | 47 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.4. Cinema 4D.....                                                   | 48 |
| 5.2.5. Comparativa entre las alternativas de software de modelado ..... | 48 |
| 6. Desarrollo y análisis del simulador de Conducción. ....              | 50 |
| 6.1. Tipos de escenarios .....                                          | 50 |
| 6.1.1. Escenario de adaptación .....                                    | 50 |
| 6.1.2. Escenario urbano .....                                           | 50 |
| 6.1.3. Escenario interurbano.....                                       | 51 |
| 6.2. Características principales y elaboración.....                     | 52 |
| 6.2.1. El vehículo del conductor.....                                   | 52 |
| 6.2.2. Marchas .....                                                    | 53 |
| 6.2.3. Tracción (FWD/AWD/RWD) .....                                     | 54 |
| 6.2.4. Tráfico externo con Inteligencia Artificial.....                 | 55 |
| 6.2.5. Peatones con Inteligencia Artificial .....                       | 56 |
| 6.2.6. Monitorización y almacenamiento de Infracciones .....            | 57 |
| 6.2.6. Recogida de Estadísticas durante la sesión .....                 | 58 |
| 6.3. Características secundarias y elaboración.....                     | 59 |
| 6.3.1. Perspectiva del conductor e interfaz.....                        | 59 |
| 6.3.2. Minimapa de localización .....                                   | 59 |
| 6.3.3. Sistema de guiado.....                                           | 60 |
| 6.3.4. Condiciones meteorológicas e impacto.....                        | 60 |
| 6.3.5. Integración del periférico G27 Logitech Racing Wheel .....       | 62 |
| 7. Conclusiones .....                                                   | 66 |
| 8.2. Líneas futuras.....                                                | 67 |
| 8. Presupuesto económico.....                                           | 69 |
| 9. Bibliografía.....                                                    | 70 |
| 10. Anexo: Plugins .....                                                | 73 |
| I. Easy Roads 3D Pro 2.0 .....                                          | 73 |
| II. Easy Traffic.....                                                   | 74 |
| III. Realistic Car Controller v2.0 .....                                | 75 |

## Índice de Figuras

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Siniestralidad histórica en las carreteras españolas (DGT, 2015).....   | 11 |
| Figura 2. Esquema de las fases de una colisión (ESTT - OEP , 2011).....           | 13 |
| Figura 3. Clasificación general de las señales de tráfico verticales.....         | 15 |
| Figura 4. Penalización a los límites de velocidad por paneles direccionales. .... | 16 |
| Figura 5. Recreación del efecto visión de túnel a diferentes velocidades. ....    | 17 |
| Figura 6. Efecto de la velocidad en la distancia de detención. ....               | 17 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 7. Esquema de glorietas partidas señalizadas.....                                | 19 |
| Figura 8. Posibles maniobras dentro de una glorieta.....                                | 20 |
| Figura 9. Esquema de una turbo rotonda.....                                             | 21 |
| Figura 10. Reducción de contaminación fruto de la conducción eficiente (DGT, 2010)..... | 25 |
| Figura 11. Ahorro medio que supone la conducción eficiente.....                         | 28 |
| Figura 12. Gráfica del ahorro por correcta elección de la marcha.....                   | 28 |
| Figura 13. Consumos medios estimados por velocidad y marcha.....                        | 29 |
| Figura 14. Impacto del transporte de equipaje sobre el vehículo.....                    | 30 |
| Figura 15. Captura de DriveSim.....                                                     | 31 |
| Figura 16. Cabina DriveSeat necesaria para utilizar DriveSIM.....                       | 32 |
| Figura 17. Captura de City Car Driving.....                                             | 34 |
| Figura 18. Captura de Simescar.....                                                     | 35 |
| Figura 19. Diferentes versiones de las cabinas Simescar.....                            | 35 |
| Figura 20. Captura de pantalla de Smart Sim.....                                        | 37 |
| Figura 21. Logotipo de Unity 5.....                                                     | 39 |
| Figura 22. Ilustración del editor en un juego 2.5D.....                                 | 40 |
| Figura 23. Logotipo de Source 2 Engine.....                                             | 41 |
| Figura 24. Captura de pantalla del Valve Hammer Editor.....                             | 42 |
| Figura 25. Logotipo de CryEngine 3.....                                                 | 42 |
| Figura 26. Captura de pantalla del editor de Cry Engine 3.....                          | 43 |
| Figura 27. Logotipo de Unreal Engine 4.....                                             | 44 |
| Figura 28. Captura de pantalla del editor de Unreal Engine 4.....                       | 45 |
| Figura 29. Logotipos de 3dsMax, Blender, Maya y Cinema 4D.....                          | 46 |

## Índice de Tablas y Código

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Límites de velocidad máxima y mínima por tipo de vía para turismos y motocicletas..... | 16 |
| Tabla 2. Efecto de la velocidad en la visión de túnel.....                                      | 16 |
| Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad en función de los límites de vía.....                  | 17 |
| Tabla 4. Impacto en consumo de los diversos factores relacionados.....                          | 29 |
| Tabla 5. Comparativa de características principales de los motores gráficos.....                | 45 |

# 1. Introducción

## 1.1. Motivación

El papel de los simuladores en el proceso de aprendizaje de la conducción, si bien no es imprescindible, representa un gran apoyo, especialmente cuando se carece de la confianza suficiente para lanzarse a la carretera en un primer momento. Aunque no es el objetivo principal de este trabajo de fin de grado, se ha hecho un gran hincapié en ofrecer las características básicas que ofrecen los principales simuladores del mercado.

Pensándolo detenidamente, el uso de un simulador de conducción para fines de investigación brinda una serie de ventajas muy importantes en contraposición con el uso de vehículos reales, entre las que encontramos:

- Quizá la más obvia, el **gasto** que supone situar una serie de vehículos en un escenario muy concreto y en ocasiones peligroso, y correr con el riesgo de que estos sufran daños es muy superior al que representa desarrollar un escenario virtual y estudiar las reacciones de los conductores.
- Las **posibilidades** son prácticamente ilimitadas, es posible recrear cualquier situación que le venga a alguien a la mente y que podría resultar demasiado complicada de ejecutar en la realidad.
- Virtualmente, un escenario puede ser **ejecutado multitud de ocasiones**, de tal manera que los datos recogidos lleguen a ser suficientemente estables, hallar medias, varianzas... Aunque se intente en la realidad, ese número nunca podrá llegar a ser tan alto.
- Una de las más importantes es que de esta manera, no se pone en juego la **seguridad** de las personas que manejan los vehículos, y es posible simular hasta cierto punto el comportamiento de peatones cosa que, aunque se utilicen maniqués, no es factible reproducir en una situación real.
- Por último pero no menos importante, es más **responsable con el medio ambiente**, desaparece el impacto medioambiental que supone el uso de vehículos, la emisión de gases que implica y el gasto de combustible.

## 1.2. Objetivos

Este trabajo de fin de grado tiene dos objetivos primordiales. El más importante del desarrollo de esta aplicación está centrado en la educación vial del usuario en el sentido más amplio de la palabra. Más concretamente se busca concienciar al usuario sobre la importancia de respetar las normas de tráfico del mismo modo que lo haría un simulador de autoescuela. Al mismo tiempo se realiza una estimación sobre el consumo de carburante que se lleva a cabo en todo momento, de tal manera que se pone en estudio cómo afectan diversos factores a este, como las distintas configuraciones del vehículo, densidad de tráfico, condiciones meteorológicas,...

Con esto se pretende que el usuario desarrolle unas habilidades de conducción tan comprometidas con el tráfico que le rodea como con el medio ambiente, contando con el incentivo de suponer un ahorro económico para su bolsillo.

Todos los datos extraídos, como consumo, velocidad, infracciones cometidas, tiempo de conducción... quedarán almacenados en un perfil al final de la ejecución en forma de fichero XML para su posterior consulta y procesado.

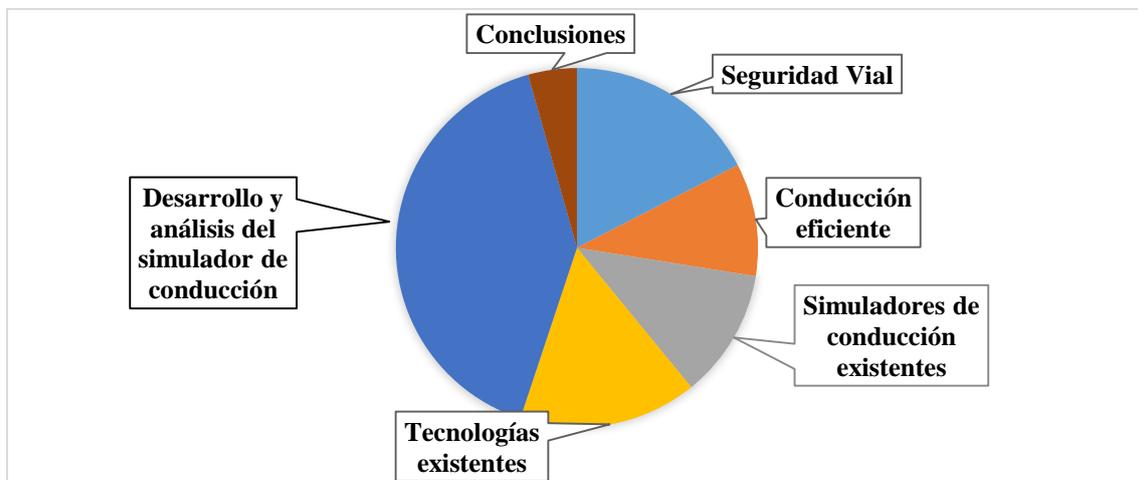
### 1.3. Medios

Los medios que se han utilizado para la elaboración de este proyecto han sido un ordenador personal portátil con las siguientes características:

- Procesador Intel Core i7-4510U 2.60GHz CPU@2GHz
- Memoria RAM 6.00GB
- Sistema operativo Windows 8.1 de 64bits
- Tarjeta gráfica Nvidia GeForce 820M 4GB
  - Memoria 2GB DDR3 dedicada
  - Memoria 2GB compartida
  - Versión DirectX 11.1

### 1.4. Estructura, fases y métodos

Esta memoria está distribuida en los siguientes capítulos:



- A continuación de este apartado y a modo de puesta en escena se hará una introducción en lo relativo a la educación vial, normas oficiales de la DGT y ejecución correcta de algunas maniobras. Posteriormente, se analizan el impacto que tienen hoy en día los simuladores en la vida real y cómo pueden ayudar a cumplir las normas de conducción.
- Posteriormente se hace un breve estudio sobre qué supone una conducción eficiente, las ventajas que esta conlleva y cuáles son los factores que determinan una conducción eficiente y en qué medida estos factores están relacionados para ser objetivo de pruebas en el simulador.

- En el capítulo 4 se introducen los principales simuladores que existen en el mercado, con el enfoque, características y ventajas de cada uno, así como una comparativa entre todos, incluido el de este proyecto.
- A continuación se exponen y comparan las tecnologías existentes en el mercado, incluidas las utilizadas en el proyecto con las que se pueden lograr llevar a cabo los objetivos marcados. Estas tecnologías están divididas en motores gráficos y software de modelado.
- En el capítulo ampliamente más extenso de la memoria se desgrana paso a paso el desarrollo del simulador, detallando las estrategias seguidas para componer cada parte y el funcionamiento de sus algoritmos. Se hace especial hincapié en la descripción y composición de los cuatro tipos distintos de escenarios y análisis de todas las características de las que dispone, incluido habitáculo del conductor, tráfico de inteligencia artificial e integración del periférico.
- Se ha redactado un breve manual de usuario donde se aportan indicaciones necesarias para utilizar correctamente el simulador, incluyendo los controles que trae por defecto, aunque puedan ser configurados por el usuario.
- En el siguiente capítulo se exponen los resultados esperados de las pruebas realizadas a usuarios, los resultados obtenidos y una comparación y análisis de ellos.
- Para terminar se presentan una serie de conclusiones a todo lo anteriormente expuesto, incluyendo objetivos cuyo desarrollo en líneas futuras podría tener interés y de cómo podría enfocarse ese desarrollo.

## 2. Seguridad vial.

El período 2011-2020 ha sido designado por Naciones Unidas como la Década de la Acción para la Seguridad Vial. Esta “Década para Acción” retaba a los países suscribientes a disminuir en un 50% el número de fallecidos en el mundo para 2020, un reto ya previamente lanzado por la Unión Europea en la década 2000-2010, que ha sido superado por España y reiterado en 2011-2020. (DGT, 2015)

En España, en los últimos años se han reducido de forma notable las cifras de siniestralidad en las carreteras y esto se debe a una fuerte concienciación por medio de campañas para respetar las normas de tráfico, acompañado por un endurecimiento de las penalizaciones y multas. Es por esto que se lleva experimentando una reducción año tras año del número de accidentes durante 13 años consecutivos. (RACE, 2013) (Taylor Nelson Sofres, 2014)

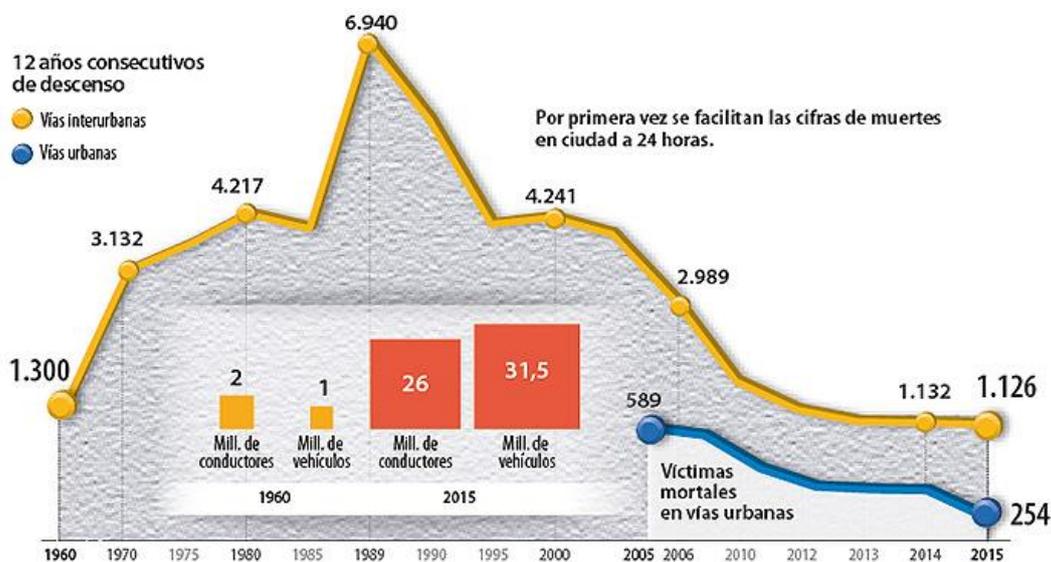


Figura 1. Siniestralidad histórica en las carreteras españolas (DGT, 2015)

Un papel fundamental en todo esto lo tiene la Dirección General de Tráfico (DGT), organismo encargado de velar por la seguridad de los conductores a base de establecer directrices básicas, esenciales para la formación y actuación de los agentes de la autoridad en materia de tráfico y circulación de vehículos a motor.

### 2.1. Los Accidentes de tráfico

Se consideran accidentes aquellos acontecimientos inesperados o impremeditados, cuyos resultados son indeseables o infortunados. Para hablar propiamente de accidente de tráfico o circulación se tienen que dar tres condiciones añadidas:

- Que el evento suceda en una vía de circulación.
- Que haya implicado, al menos, un vehículo en movimiento.
- Que se den daños ya sean materiales o personales.

El accidente, a pesar de su brevedad, es un proceso dinámico, que se desarrolla en el espacio y en el tiempo en base a puntos o zonas y momentos donde los hechos se producen. La unión entre un momento y un punto adquiere el nombre de posición e implica una fase del accidente. (ESTT - OEP , 2011)

Es muy importante conocer su evolución, incluyendo las áreas, puntos y posiciones, ya que permite investigar sobre los conocimientos de los implicados, experiencia, pericia y reflejos, su estado psíquico y físico, presencia de distracciones, sueño, cansancio, alcohol, medicamentos, enfermedad, así como el estado de la dirección y frenado del vehículo, etc.

Dentro de un accidente se distinguen **3 fases**:

- **Zona de Percepción (ZP)**: Es la fase inicial en la que el conductor percibe y es consciente por primera vez del riesgo de accidente, comprende el punto de percepción posible (PPP) y el punto de percepción real (PPR).

Posición de percepción posible (PPP): Es el punto del escenario en el que un conductor podría haberse dado cuenta del peligro en el mejor de los casos.

Posición de percepción real (PPR): Es el punto, siempre ligeramente posterior al PPP en el que el conductor se ha dado cuenta del peligro inminente.

Es posible que, por la naturaleza del accidente, estos puntos estén situados prácticamente en el mismo sitio, pero normalmente la diferencia entre ellos se utiliza en peritaje para conseguir una medición de la negligencia del conductor y de si el accidente podría haberse evitado.

- **Zona de Maniobra (ZM)**: Empieza en el momento en el que el conductor inicia una maniobra evasiva con la intención de evitar el choque, aunque en ocasiones el imprevisto es tal que este área es prácticamente nula. Las maniobras pueden ser favorables si consiguen minimizar los daños o erróneas si ocasionan un mal mayor. Comprende el espacio entre el punto o posición de decisión y el punto de conflicto.

Posición de decisión (PD): Es el punto en el que el conductor, aun habiéndose dado cuenta del peligro, supera el bloqueo inicial y emprende la maniobra evasiva. Si esta consiste en un frenazo brusco, se puede reconocer por la marca de neumáticos en el asfalto.

Posición Clave (PCL): Es el punto en el que el accidente ya es físicamente imposible, a partir de este punto solo es posible minimizar los daños.

- **Zona de Conflicto (ZC)**: Comprende el espacio entre el punto clave y la posición final, es donde se desarrolla la colisión en sí. Está formado por:

Posición de conflicto (PC): Punto en el que ambos vehículos, o vehículo y peatón llegan a entrar en contacto por primera vez.

Posición final (PF): Tras el accidente, es la posición en la que quedan los implicados.

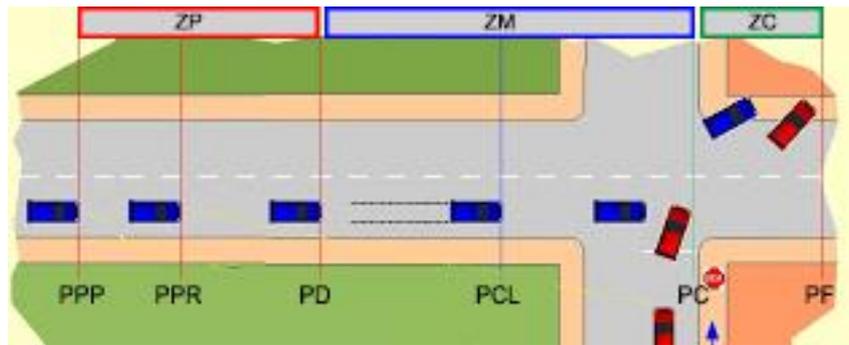


Figura 2. Esquema de las fases de una colisión (ESTT - OEP , 2011)

## 2.2. Educación vial

Para evitar este tipo de situaciones se hace necesaria una serie de normas que el conductor debe cumplir para coexistir de forma segura con el resto de tráfico a su alrededor. A continuación se van a analizar los aspectos más importantes de estas normas, especialmente los que atañen al uso de nuestro simulador.

### 2.2.1. Factores que intervienen en la circulación

(DGT, 2013)

- **La persona** (Como conductor y peatón):  
El conductor es la persona que, con determinadas excepciones, maneja el mecanismo de dirección o va al mando de un vehículo o a cuyo cargo está un animal o animales. En vehículos que circulen con la función de aprendizaje de la conducción, es conductor la persona que está a cargo de los mandos adicionales. Peatón es la persona que, sin ser conductor, transita a pie por las vías o terrenos a los que son aplicables los preceptos de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.

En ocasiones de forma inconsciente se asume un factor implícito en la coexistencia con el resto de personas que conforman el tráfico en las vías públicas, la **confianza**. Es decir, al salir a la carretera se asume que las personas a nuestro alrededor tienen la intención de cumplir las normas establecidas de tráfico en mayor o menor medida a fin de lograr una relación simbiótica que minimice los riesgos de sufrir un accidente al desplazarnos. El problema viene dado cuando, por exceso de confianza o por negligencia al volante, es el factor humano el responsable de un impacto.

Estos son algunos de los factores que provocan siniestralidad en las vías relacionados con el conductor:

- Condiciones físicas: La fatiga, somnolencia, realización de trayectos sin descanso, comidas tediosas...
- Condiciones psíquicas: Depresión, actitud temeraria e imprudente, agresividad, negligencia...
- Influencia de las drogas, alcohol o fármacos: Reducen los reflejos al volante, producen una falsa sensación de seguridad, apreciación incorrecta de las distancias, aumenta la distancia de frenado...

- **El vehículo:**

No es más que la conexión del conductor con la vía pública, ya sean turismos, bicicletas, motocicletas o vehículos especiales. Es responsabilidad del conductor el correcto funcionamiento, reglaje y puesta a punto del vehículo para minimizar el riesgo de sufrir un contratiempo que derive en un accidente vial, así como conocer el perfecto funcionamiento del mismo y la utilización de sus componentes para las diferentes maniobras.

Para ello, es obligatorio por ley que el vehículo supere las inspecciones técnicas pertinentes (ITV) y revisiones por parte de la marca, que garantizan el correcto funcionamiento del vehículo para que este no suponga un riesgo potencial para la conducción, así como disponer de un seguro que se haga responsable de los perjuicios ocasionados si es necesario.

Algunos de los factores relacionados con el estado del vehículo que actúan en contra de la seguridad vial son:

- Presión inadecuada de los neumáticos.
- Profundidad del dibujo de las ruedas.
- Estado de los filtros y niveles de aceite y agua.
- Estado de las pastillas de freno.
- Correcto funcionamiento de la batería.
- Regulación de espejos y altura de los faros para evitar deslumbrar y ser deslumbrado.

- **La vía y su entorno:**

Por último, se tiene el medio por el cual la persona, a través del vehículo, circula e interacciona con el resto de tráfico. Es el Estado el encargado de preservar el correcto mantenimiento de las vías públicas para que no supongan un impedimento a la hora de realizar una conducción adecuada. Las vías especiales han de tener una clara señalización que no dé lugar a dudas y las situaciones peligrosas como cambios de rasante, posible presencia de animales o tramos de alta concentración de accidentes han de ser señalizados explícitamente. Se considera que todos estos factores relativos a la vía y el entorno en conjunto explican entre el 10 y el 35% de los accidentes de circulación. (DGT, 2013)

Hay un abanico de factores relacionados con la vía que suponen un peligro añadido para los conductores:

- Deficiencias en la superficie: Socavones, irregularidades, deterioro,...
- Condiciones meteorológicas: Lluvia, nieve, granizo, temperaturas extremas.
- Modificación de la naturaleza de la vía por obras o accidentes.
- Tramos especiales (Cruces, glorietas, pasos a nivel, puentes, túneles, carril bici, carril bus,...).

### **2.2.2. Señalización y marcas viales**

Las señales son un elemento sumamente importante porque al respetarlas se reduce al mínimo la posibilidad de sufrir un accidente. (DGT, 2011) Su misión es la de advertir e informar a los usuarios de la vía, con la necesaria antelación, de determinadas circunstancias de la misma o de la circulación, además de:

- Aumentar la seguridad de la circulación.
- Aumentar la eficacia de la circulación.
- Aumentar la comodidad de la circulación.
- Advierten los posibles peligros.
- Ordenan la circulación, de acuerdo con las circunstancias de cada lugar.
- Recuerdan algunas prescripciones del Reglamento General de la Circulación.
- Proporcionan al usuario de la vía una información conveniente.

|  |                               |  |                               |
|--|-------------------------------|--|-------------------------------|
|  | <b>Advertencia de Peligro</b> |  |                               |
|  | <b>Restriccion de Paso</b>    |  | <b>Obligación</b>             |
|  | <b>Prohibicion</b>            |  | <b>Indicaciones Generales</b> |
|  | <b>Prioridad de Entrada</b>   |  | <b>Servicios</b>              |
|  | <b>Fin de Prohibicion</b>     |  | <b>Carriles</b>               |

Figura 3. Clasificación general de las señales de tráfico verticales

Cabe señalar que en una situación especial en la que los elementos de señalización se contradigan entre sí, prevalece el siguiente orden de prioridad, o la señal más restrictiva si son del mismo tipo:

1. Señales y órdenes de los Agentes de circulación.
2. Señalización circunstancial que modifique el régimen normal de utilización de la vía y señales de balizamiento fijo.
3. Semáforos.
4. Señales verticales de circulación.
5. Marcas viales.

### 2.2.3. Progresión normal

Se le denomina progresión normal a la circulación dentro del flujo de tráfico sin alteraciones sensibles de dirección ni realización de maniobras básicas y adaptándose en cada momento a las condiciones de flujo de la corriente de tráfico. Es más frecuente en vías interurbanas y autovías, aunque en tramos urbanos también se da, en secciones de menor proporción por las circunstancias cambiantes del tráfico urbano.

Así pues, el conductor debe ocupar una posición adecuada dentro de su carril, mantener una separación adecuada con los vehículos a su alrededor y llevar un ritmo de marcha uniforme y adaptado a las condiciones del tráfico y de la vía, realizando una observación constante del tráfico por delante, por detrás y por los lados. Este tipo de conducción se inspira en el movimiento de las orugas, las cuales avanzan en la misma dirección y sin chocar ajustando su velocidad y elongación para encajar en el grupo. (DGT, s.f.) De esta manera se consigue un tráfico estable y uniforme por detrás del vehículo, al contrario del que genera la velocidad excesiva y los parones constantes, que al final repercute en la llegada al destino en menor tiempo, menor riesgo de colisión y menor consumo de combustible.

## 2.2.4. La velocidad y la distancia de seguridad

Actualmente las vías cuentan con los siguientes límites de velocidad impuestos según su tipo:

| Autopistas y autovías <sup>1</sup> | Carreteras convencionales <sup>2</sup> | Carreteras no convencionales | Vías urbanas, travessías |
|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                                    |                                        |                              |                          |

Tabla 1. Límites de velocidad máxima y mínima por tipo de vía para turismos y motocicletas

Hay que tener también en cuenta, aunque no es sabido por muchos conductores, que estas velocidades pueden sufrir una penalización en curvas peligrosas si vienen señalizadas por paneles direccionales de este estilo, habiendo de restar entre 15 y 30km/h en el primer caso, entre 30 y 45km/h en el segundo y más de 45km/h en el último caso. al límite que en ese momento tenga la carretera, ya sea por señalización o por límite de vía.



Figura 4. Penalización a los límites de velocidad por paneles direccionales.

Uno de los efectos más importantes de la velocidad es la **Visión de Túnel**, es un reflejo innato en el ojo humano, en el cual, bajo una situación de estrés o en la que se pueda advertir peligro, la vista se nubla hasta dejar solo una zona de visión escasa, enfocando algún objeto en concreto o el peligro que se presenta para centrar toda la atención del sujeto en él. Esto provoca una visión periférica reducida y en general un nivel de percepción equivocado de las distancias, que se ve gravemente afectada por la velocidad, como se observa en la tabla 2, donde el ángulo de visión llega a reducirse de 104° (En reposo) hasta nada más que 18° a una velocidad de 150km/h.

| Velocidad | Cono de visibilidad |
|-----------|---------------------|
| 0 Km/h    | 104°                |
| 65 Km/h   | 70°                 |
| 100 Km/h  | 42°                 |
| 130 Km/h  | 30°                 |
| 150 Km/h  | 18°                 |

Tabla 2. Efecto de la velocidad en la visión de túnel.

<sup>1</sup> Dentro de poblado el límite será de 80km/h

<sup>2</sup> Para ser convencional deberá contar con un arcén pavimentado de 1,5 metros o más de ancho o más de un carril para algunos de los sentidos.



Figura 5. Recreación del efecto visión de túnel a diferentes velocidades.

Por otro lado, la principal causa de accidentes relacionados con la velocidad son los alcances traseros. Como se puede ver en la figura 6, extraída de un informe de la DGT (DGT, 2013), por límites según el tipo de vía, la velocidad tiene una relación **exponencial** con la distancia de detención, que está constituida por:

- **La distancia de reacción**, que es la distancia recorrida en el intervalo en el que el conductor divisa un peligro, procesa la información, decide la acción de frenar a fondo y su pie alcanza el freno. Depende meramente de la velocidad a la que se circula en el momento del imprevisto.
- **La distancia de frenado**, que es la distancia que recorre el coche hasta que los frenos son capaces de convertir toda la energía cinética debida a la inercia por la velocidad, en forma de calor. Esta depende entre otras cosas del estado de la superficie o la presencia del sistema de frenado ABS (*Sistema Anti Bloqueo*).



Figura 6. Efecto de la velocidad en la distancia de detención.

Para conseguir que esta distancia de detención sea suficiente para evitar la colisión es necesario respetar una **distancia mínima de seguridad** con el vehículo que tenemos inmediatamente delante. Esta debe ser tal que se garanticen dos segundos en alcanzar la posición del vehículo posterior. Haciendo un breve cálculo con dos segundos resulta en:

| Velocidad (Km/h) | Velocidad (m/s) | Distancia de seguridad |
|------------------|-----------------|------------------------|
| 50km/h           | 13.9m/s         | 28m                    |
| 90km/h           | 25m/s           | 50m                    |
| 120km/h          | 33.3m/s         | 67m                    |

Tabla 3. Distancias mínimas de seguridad en función de los límites de vía

Tal y como vemos en la tabla 3, la distancia de seguridad se ajusta bastante a la medida de la distancia de frenado en superficie seca, suficiente teniendo en cuenta que, salvo en un choque frontal, el vehículo de delante también recorrerá cierta distancia si sufre un imprevisto.

Esta distancia mínima de seguridad va a ser monitorizada dentro del simulador y contemplada como una infracción de tráfico si no se respeta. En caso de lluvia intensa y con poca visibilidad es recomendable aumentar esta distancia mínima de seguridad en torno a un 50%, o lo que es lo mismo, sumar un segundo más entre las posiciones de los vehículos.

#### **2.2.4. Maniobras**

A continuación se hace hincapié en algunas indicaciones sobre cómo se han de efectuar algunas de las maniobras más comunes y que están presentes en este simulador. En todas ellas, los intermitentes han de utilizarse con tiempo y no en el último momento, cuando ya no sirven para nada.

##### **Cambios de carril y adelantamientos**

- Es necesario señalar la maniobra con el intermitente izquierdo con antelación, un desplazamiento lateral mal señalado puede sorprender más que un giro, especialmente los de vehículos más ágiles como motocicletas.
- Hay que comprobar que no obstaculizamos al tráfico situado detrás de nosotros, especialmente en el ángulo muerto que se crea en las esquinas traseras de nuestro vehículo con motocicletas.
- Hay que tener en cuenta que los vehículos en ocasiones parecen estar más lejos por el efecto de los espejos.
- El desplazamiento ha de realizarse paulatinamente y a velocidad constante para no sorprender al resto de tráfico. Hay que igualar su velocidad en la medida de lo posible para evitar que estos tengan que frenar.
- Los límites de velocidad para carretera (convencional o no) pueden ser rebasados hasta 20km/h solamente para efectuar adelantamientos de vehículos que circulen por debajo de la velocidad máxima.
- Una vez rebasado el vehículo hay que señalar la vuelta al carril derecho y efectuarlo con la misma precaución con la que se desplazó al izquierdo.
- Solo es posible realizar un adelantamiento por línea continua para adelantar a vehículos de pequeñas proporciones como ciclistas, siempre que se considere que la visibilidad del tramo no entrañe peligro (es decir, no sea una curva y no tenga cambios de rasante) y dejando un margen de 1,5 m. entre nuestro vehículo y el mismo.

##### **Salidas/Incorporaciones**

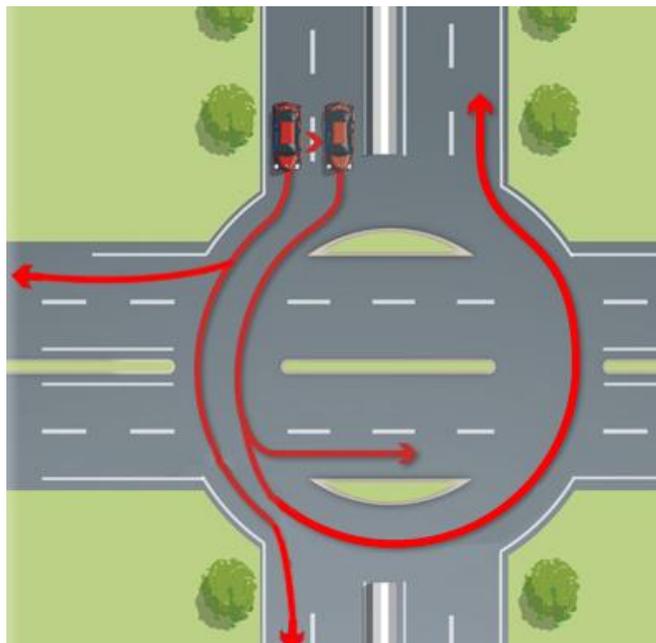
En cuanto a las salidas e incorporaciones a vías rápidas, principalmente autovías, cabe destacar los siguientes detalles:

- Al tomar una salida hay que colocarse en el carril derecho e indicar con antelación la intención de tomar la salida.
- Entrar al principio del carril de deceleración y empezar a frenar y reducir marchas una vez se encuentre dentro.

- Al incorporarse también es necesario advertir de la intención con el intermitente ya que existen incorporaciones que también hacen el papel de salidas.
- En las incorporaciones, se ha de verificar por el espejo la trayectoria y velocidad del tráfico de la vía, ya que tiene la prioridad.
- Cuando se encuentre un hueco libre, se ha de efectuar el desplazamiento de forma progresiva y en una relación de marchas baja para ganar velocidad rápidamente.
- Si conducimos por la arteria principal, se debe facilitar la maniobra de los que intentan incorporarse, desplazándonos al carril izquierdo solamente si esto no entraña riesgo alguno.

### **Glorietas partidas señalizadas**

Este tipo de cruces como el de la figura 7 llamados “Glorieta partida Señalizada” porque es una glorieta al uso atravesada por la arteria principal constituye la mayoría en el tramo recreado en el simulador, disponen de dos tramos, generalmente opuestos y en ocasiones de distintos carriles, que se conectan a través de una isleta central atravesada por el tramo de mayor afluencia. En la figura 7 se contemplan las posibles salidas que se pueden tomar desde los dos carriles a los que se llega, es decir, desde los carriles de la isleta es posible incorporarse directamente al tráfico de la arteria principal desde el carril izquierdo o derecho respectivamente, o seguir recto desde ambos si el cruce lo permite para continuar o realizar un cambio de sentido. (DGT, 2011)



*Figura 7. Esquema de glorietas partidas señalizadas*

### **Glorietas**

- El intermitente es fundamental para advertir la intención de salir o cambiar de carril, de esta manera los que esperan para entrar no se verán sorprendidos.
- Aunque se puede utilizar el carril exterior todo el tiempo, es recomendable usar uno de los carriles interiores hasta rebasar todas las salidas que no queremos tomar, momento en el cual se ha de señalar correctamente el cambio al carril exterior tras haber pasado la salida anterior a la que vamos a tomar.

- Las salidas siempre se han de tomar desde el carril más exterior para evitar cortar las trayectorias del resto de vehículos.

En la figura 8 se muestran todas las posibles maniobras que se hacen en las glorietas. Las efectuadas por los vehículos azul y verde son correctas, mientras que las efectuadas por los de color rojo, naranja y rosa son propensas a ocasionar accidentes.

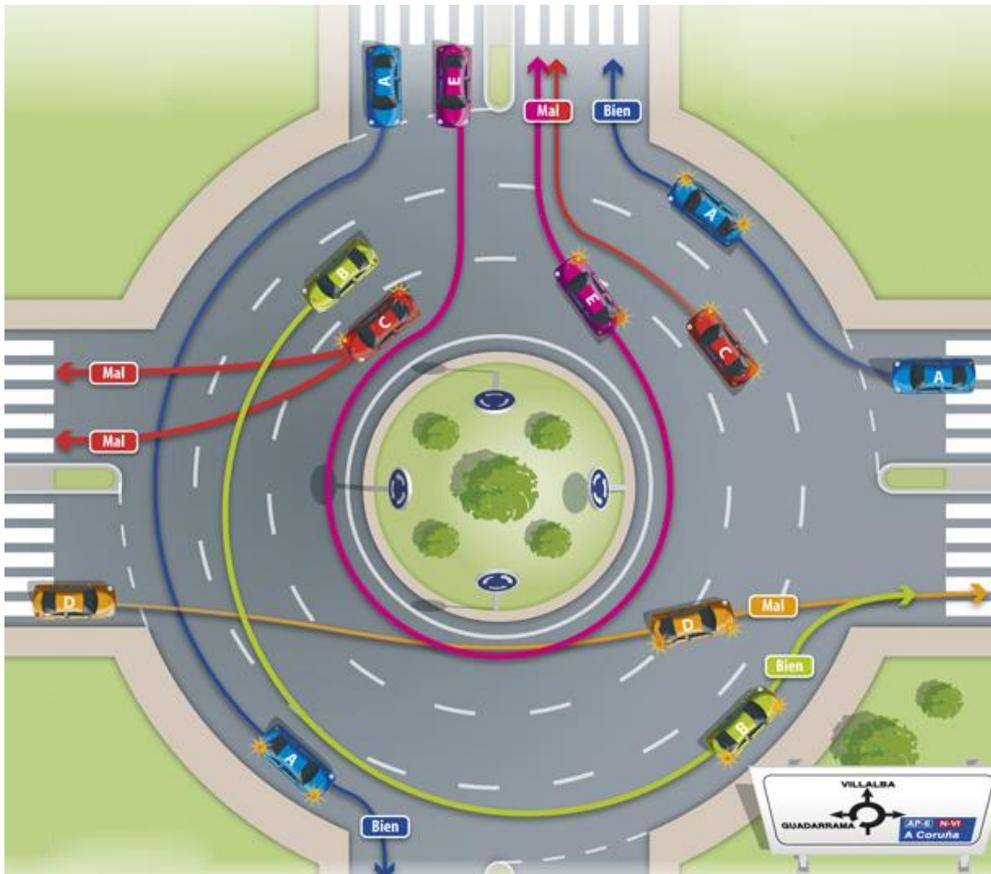


Figura 8. Posibles maniobras dentro de una glorieta.

## Turborrotondas

Por último cabe mencionar este nuevo tipo de glorietas que han empezado a cobrar fuerza este año en España a través de un diseño holandés. Actualmente solo se encuentran en algunas provincias del Norte de España pero se planea aumentar el número próximamente. (Olona, 2014) Se diferencia de las glorietas convencionales en que al entrar en la glorieta se elige un carril que determinará la salida a tomar. Esto implica que no se dan desplazamientos laterales en la glorieta, consiguiendo así anular los accidentes de tráfico relacionados con este factor.

Aunque en el simulador no se ha integrado este elemento arquitectónico, sería interesante desarrollarlo en próximas implementaciones para aprovechar la naturaleza didáctica de los simuladores y su sinergia con este tipo de novedades en la circulación, al presentar la novedad en un escenario virtual donde el conductor pueda analizar tranquilamente sus características.



Figura 9. Esquema de una turbo rotonda

Como se puede observar en la figura 9, al entrar en la glorieta se ha de elegir entre un carril derecho que limita las opciones en cuanto a salidas, o un carril izquierdo que permite, o bien seguir recto, o bien incorporarse al carril exterior del sentido opuesto para coger la tercera salida o efectuar un cambio de sentido. Aunque a priori pueda parecer más complicado, con este diseño se gana en simplicidad ya que el conductor solo tiene que estar pendiente de entrar en el carril correspondiente cediendo el paso al entrar en la glorieta. A partir de ese punto ningún vehículo le va a cortar la trayectoria, y tras un tiempo de adaptación se conseguirá reducir notablemente el índice de accidentes en glorietas de este tipo, además de descongestionar el tráfico por permitir una conducción más fluida.

### 2.3. Impacto de los simuladores en la educación vial

El objetivo principal de un simulador de conducción es su capacidad para reproducir las sensaciones reales que se sienten al conducir un vehículo, pero con la ventaja de tener el control de las variables de estudio sin poner en riesgo a los usuarios.

Las primeras clases prácticas de conducción pueden ser muy tensas para el estudiante, incluso para aquellos que no tengan fobia a conducir por culpa de un accidente o por otro tipo de situación que pueda generar miedo. El alumno que nunca ha conducido no está familiarizado con los componentes del vehículo o la posición del conductor, por lo que estar en un ambiente controlado como es una simulación, hace que el candidato se sienta mucho más seguro y cómodo. Además, al reducir el nivel de estrés al que se está sometido, se desemboca en una conducción mucho más natural y efectiva, pudiéndose centrar en el aprendizaje y reducir las situaciones de bloqueo por el pánico.

*The Effect of Driving Simulator Fidelity on Training Effectiveness*, (R. Wade Allen, 2007) es un estudio sobre el grado de fidelidad de la simulación de conducción y el efecto sobre su eficiencia en la formación de los conductores llevado a cabo durante cuatro años en California y durante dos años en Canadá. Se analizó el comportamiento de los conductores que habían sido formados con simuladores y se compararon con las tasas de accidentes en conductores noveles que no habían sido formados con simulador. En este

estudio, se pudo comprobar que los índices de accidente entre los formados con simulador eran un **50% inferior** a los formados sin esta herramienta didáctica en California o Canadá. En los resultados preliminares, los autores se dieron cuenta de que una hora en el simulador puede sustituir a una hora de clases de conducir en las calles.

A continuación se recogen algunas de las propuestas acogidas por algunos países en lo relativo al uso de simuladores de forma complementaria al aprendizaje de conducción: (Torres, 2016)

- En los Países Bajos, se han incluido los simuladores de conducción en la formación de conductores noveles con el fin de enseñarles los conceptos básicos que tienen que ver con el manejo de un vehículo.
- En Chile, se requiere el uso de simuladores en la formación de los conductores profesionales como taxistas, transportistas o conductores de autobús.
- En Japón, los simuladores se utilizan desde 1996 para formar a los conductores de motocicletas y, desde 2007, el país hizo del simulador algo necesario en la formación de conductores de turismos.
- Finlandia adoptó el requisito de incorporar los simuladores a las clases prácticas nocturnas y su inclusión en la formación aplicada a conductores profesionales de vehículos de cuatro ruedas.
- Marruecos destina parte de la carga horaria a clases con simulador, alcanzando el 35% de sustitución de aulas.
- En Francia, hoy en día se utilizan los simuladores como sustitutivos de parte de las prácticas reales con vehículo original. El país ha estado estudiando el uso obligatorio del simulador como parte de la reforma del proceso de concesión de licencias de conducir y su integración en el Plan de Formación Nacional francés.
- La Unión Europea ha estudiado sobre el tema y ya se utiliza un método audiovisual de manera obligatoria con ordenador en el que se simulan condiciones peligrosas.
- En otros países como España, Panamá, Uruguay, Bielorrusia, República Checa, Irlanda, Lituania, Rumania, Rusia y Eslovaquia, el uso de simuladores en la formación también está siendo regulado.

En cuanto a la otra cara del uso de simuladores de conducción como herramienta de estudio, se ha demostrado que son una alternativa adecuada para los estudios de campo. Eso es porque, con ellos, se pueden realizar estudios más económicos y sencillos debido a la facilidad que ofrecen a la hora de controlar las acciones del conductor y los datos sobre sus errores o infracciones cometidos durante la conducción. Toda esta información queda registrada gracias al simulador. Los simuladores se utilizan para estudios de tráfico como proyectos de cambio de carreteras, desarrollo de nuevos proyectos de vehículos, desarrollo de nuevos dispositivos de seguridad, evaluación de la utilización de sistemas de navegación por satélite, evaluación del comportamiento humano del conductor (influencia del alcohol, las drogas, el sueño y la fatiga en la conducción), la mejora de los conductores con licencia y la formación profesional para la conducción de vehículos específicos, la educación vial, así como en la formación de los conductores.

### **El simulador como tratamiento de la Amaxofobia:**

(Amaxo: Carro, Fobia: Miedo) Se define coloquialmente como el miedo a conducir, entendido como una inquietud permanente y desproporcionada que surge antes y sobre todo durante la acción de conducir. Está ligado a antecedentes de ansiedad, depresión, estrés y baja autoestima o traumas relacionados con accidentes de tráfico y afecta en mayor medida a mujeres. Tiene diferentes grados de intensidad, desde la disminución de capacidades al volante y bloqueo hasta la inhabilitación total para conducir, en ocasiones sin tan siquiera haberse subido previamente a un vehículo. (Mapfre, Marzo 2005)

Según un estudio de Attitudes llamado “La Ansiedad y su Influencia en los Conductores Españoles” (Attitudes, 2010), en España el 54% de los conductores sufren diferentes niveles de ansiedad cuando conducen, el 22% presentan elevados niveles de ansiedad y el 4% sufren síntomas de Amaxofobia.

El uso de un simulador puede ser la opción ideal para ayudar a superar este tipo de miedo irracional, ya que permite eliminar por completo el factor de peligro y el usuario puede habituarse poco a poco a las sensaciones que se sienten al ponerse al control de un vehículo, desarrollar los mecanismos básicos para poder desplazarse sin sufrir bloqueos o crisis de ansiedad y reproducirlos más tarde al volante.

### **3. Conducción eficiente.**

En nuestro país, el 60% del petróleo consumido está destinado al parque nacional móvil, es decir al conjunto de vehículos que circula todos los días por nuestras calles y carreteras. En términos medioambientales esto supone que un 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> lanzadas a la atmósfera provienen de los motores de estos vehículos. (DGT, 2010) Aunque en las últimas décadas esta cifra se ha ido reduciendo paulatinamente gracias a las nuevas tecnologías, se sabe del papel fundamental del conductor mediante su actitud al volante para reducir globalmente el consumo de carburante. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002)

A continuación se van a analizar cuáles son los hábitos más importantes para conseguir una conducción que, sin apenas repercutir en el tiempo necesario para llegar a nuestro destino, reduce en mayor o menor medida la cantidad de carburante que consumimos durante el recorrido, siempre respetando las normas de tráfico y manteniendo una actitud responsable.

#### **3.1. Ventajas de una conducción eficiente**

Además del ahorro en términos de combustible que supone para el bolsillo del conductor, una actitud responsable al volante influye también en los siguientes aspectos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002):

- Ahorro económico de combustible.
- Mejora del confort de conducción y disminución de la tensión:  
Se trata de evitar acelerones y frenazos bruscos, con lo que los ruidos correspondientes procedentes del motor se pueden eliminar, mantener una velocidad media constante y realizar el cambio de marchas conveniente que mantenga funcionando el motor de forma regular.
- Reducción del riesgo y gravedad de los accidentes.
- Menores costes de mantenimiento y aumento de la vida de los componentes mecánicos (frenos, embrague, caja de cambios, neumáticos y motor):  
Por ejemplo, la relación de marchas adecuada evita someter a la caja de cambios a esfuerzos innecesarios, y la anticipación y el uso del freno motor minimizan el desgaste del sistema de frenado.
- Reducción de contaminación urbana que mejora la calidad del aire respirado.
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y con ello mejora de los problemas del calentamiento de la atmósfera, ayudando a que se cumplan los acuerdos internacionales en esta materia. Tal y como se ve en la figura 10 (DGT, 2010), se puede evitar lanzar un 78%, 63% y 50% de los componentes nocivos en forma de gases.

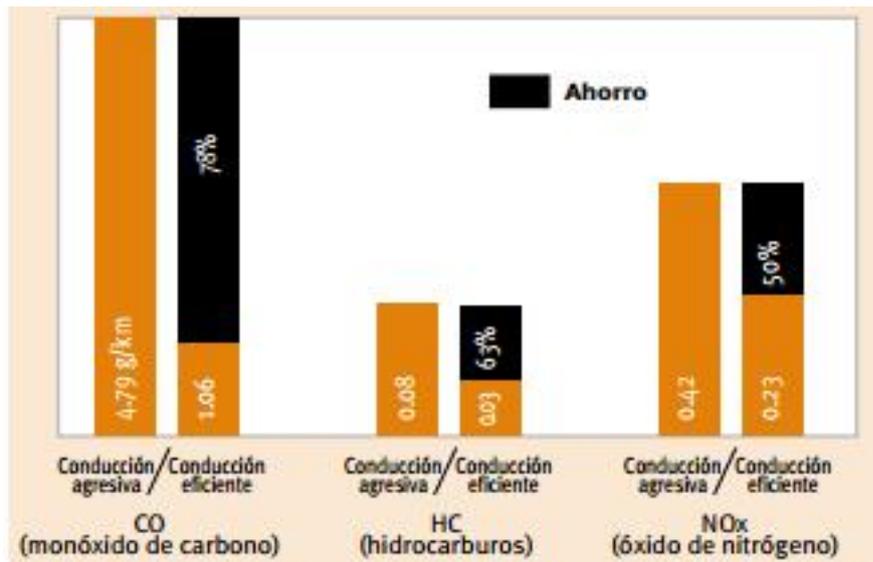


Figura 10. Reducción de contaminación fruto de la conducción eficiente (DGT, 2010)

- Ahorro de energía a escala nacional que incide en balanza de pagos y reducción de dependencia energética exterior.

## 3.2. Análisis y clasificación de Factores

### El arranque del vehículo:

Es conveniente arrancar el motor sin acelerar y con el embrague pisado, de esta maneja, al desacoplar la caja de cambios, al motor le cuesta un poco menos arrancar. Una vez arrancado, se ha de iniciar inmediatamente la marcha en un motor de gasolina, en cambio si el motor es diésel se ha de esperar unos segundos para que la lubricación recorra todo el sistema. (SIRA S.C., 2009)

### El aumento de marcha:

- La primera marcha es la que más fuerza transmite al vehículo y en contrapartida la que más consume, así que solamente se utiliza para lo imprescindible, es decir, realizar maniobras muy cortas como un aparcamiento o iniciar la marcha. Es el momento más importante, especialmente en ciudad y se ha de acelerar progresiva y suavemente para cambiar a segunda.
- Para aumentar de marcha se ha de procurar que sea lo antes posible:
  - Entre 2000 y 2500 rpm en un motor de gasolina.
  - Entre 1500 y 2000 rpm en un motor diésel
- El equivalente en velocidad para aumentar la marcha depende de la potencia del motor pero oscila entre:
  - 2ª marcha: Primeros 2 segundos o 6 metros.
  - 3ª marcha: Al alcanzar los 30km/h
  - 4ª marcha: Al alcanzar los 40km/h
  - 5ª marcha: Al alcanzar los 50km/h

- A partir de este momento es deseable circular en la marcha más alta disponible.
- Una vez engranada la marcha, se ha de pisar rápidamente el acelerador para no perder aceleración y mantener una velocidad deseable.

### **La reducción de marcha:**

- Si se cuenta con tiempo suficiente, la manera más eficiente pasa por utilizar el freno motor, esto consiste en dejar el coche al ralentí con la marcha engranada pero sin pisar el acelerador, aquí el consumo es **cero**. Cuanta más baja es la marcha más fuerte es el frenado de motor porque ejerce más resistencia a girar.
- Si es necesario reducir aún más la velocidad, se efectuarán pequeñas modificaciones con el freno y se tenderá a reducir de marcha lo más tarde posible para reducir el impacto en el motor. Normalmente al alcanzar las 2000 rpm. Es posible reducir de cuarta a segunda directamente sin pasar por tercera si las revoluciones rondan las 1200 rpm.
- Si se va a estar parado más de 60 segundos es recomendable apagar el motor en caso de que no cuente con sistema Start-Stop.

### **El aire acondicionado:**

El aire acondicionado o el climatizador es uno de los equipos accesorios con mayor incidencia en el consumo global de carburante. Se recomienda no utilizarlo a no ser que la temperatura en el interior del vehículo exceda los 23-24° C.

### **Las ventanillas:**

Al bajar las ventanillas se modifica la aerodinámica del vehículo, aumentando la resistencia por el aire que encuentra el motor al acelerar. Por lo tanto, es recomendable utilizar los sistemas de refrigeración integrados del vehículo para este fin.

### **Presión de los neumáticos:**

Los neumáticos, como único punto de contacto con la superficie, otorgan al vehículo estabilidad y adherencia. Si la presión no es la adecuada, ya sea menos o mayor, no se reparte uniformemente la zona de contacto por toda la superficie del neumático y como resultado se ofrece más resistencia por rodadura al motor, aumentando el consumo. (Camós, 2011)

### **Peso del vehículo:**

Es un factor a tener en cuenta la cantidad de peso extra que el vehículo tiene que soportar, ya sea por transporte de pasajeros, maletero lleno,... El motor está expuesto a una sobrecarga que deriva en más consumo y, si el peso está mal repartido, puede llegar a afectar a la estabilidad del eje delantero.

### **Cargas exteriores:**

El transporte de objetos sobre el coche afecta enormemente a su aerodinámica y en consecuencia a la resistencia del aire y consumo de gasolina.

### **Sistema de alumbrado:**

Es cierto que llevar las luces encendidas afecta ligeramente al consumo, así que pueden permanecer apagadas únicamente cuando no sea necesario.

### **Resumen de las principales conductas deseables para lograr una conducción eficiente:**

- Circular en la marcha más larga posible y a bajas revoluciones.
- Mantener la velocidad de circulación lo más uniforme posible.
- En los procesos de aceleración, cambiar de marcha:
  - Entre 2.000 y 2.500 revoluciones en los motores de gasolina.
  - Entre 1.500 y 2.000 en los motores diésel.
- En los procesos de deceleración, reducir de marcha lo más tarde posible.
- Realizar siempre la conducción con anticipación y previsión, intentando mantener una velocidad constante y adecuada a cada situación.
- Recordar que mientras no se pisa el acelerador, manteniendo una marcha engranada, y una velocidad superior a unos 20 km/h, el consumo de carburante es nulo.
- De ser posible, renovar el vehículo si es antiguo. Un vehículo nuevo contamina un 95% menos que los fabricados hace 20 años.
- Optar por los motores Diésel, pues reducen el consumo de combustible en un 10%. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002), (SIRA S.C., 2009), (Accor, 2009)

## **3.3. Impacto en el consumo**

Estos son, grosso modo, los factores más importantes a la hora de comedirse en el gasto energético. Se estima que un conductor medio puede realizar un ahorro de entre un 10 y un 25% de combustible. Eso significa que con el mismo depósito de gasolina, su coche le hará recorrer un 25% adicional de kilómetros. O lo que es lo mismo, le ahorrará una de cada 5 visitas a la gasolinera. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002)

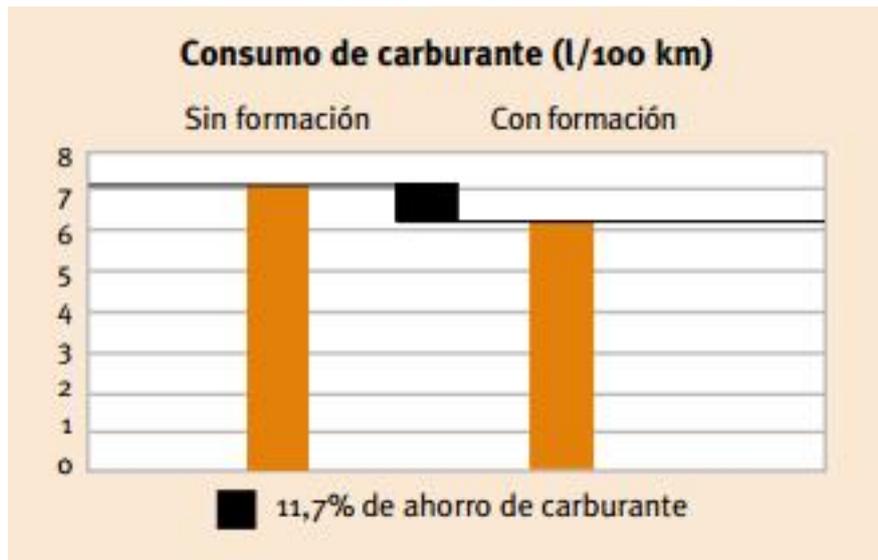


Figura 11. Ahorro medio que supone la conducción eficiente

Los beneficios para el bolsillo parecen obvios pero, de forma concreta, vamos a ver en qué medida afecta cada uno de los factores mencionados.

Como refleja la figura 12, a una velocidad de 60km/h se puede ahorrar hasta un 20% si se escoge la **marcha más larga**. Además, cuanto mayor es la cilindrada del motor, más repercusión tiene este acto.



Figura 12. Gráfica del ahorro por correcta elección de la marcha

De forma estimada, se pueden ver en la figura 13 una media de los valores de consumo que tienen todas las marchas según la velocidad a la que conducimos. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002) Se puede observar que la curva de la primera marcha es notablemente superior al resto, lo que implica que el arranque va a tener un papel sumamente importante en el ahorro. El resto de curvas tienen a aumentar progresivamente pero se van atenuando a medida que se aumenta de marcha, encontrando el punto más bajo en la conducción en quinta entre 60 y 100km/h. Estas curvas van a ser utilizadas en nuestro simulador para conseguir llegar a unos valores finales de consumo estimados.

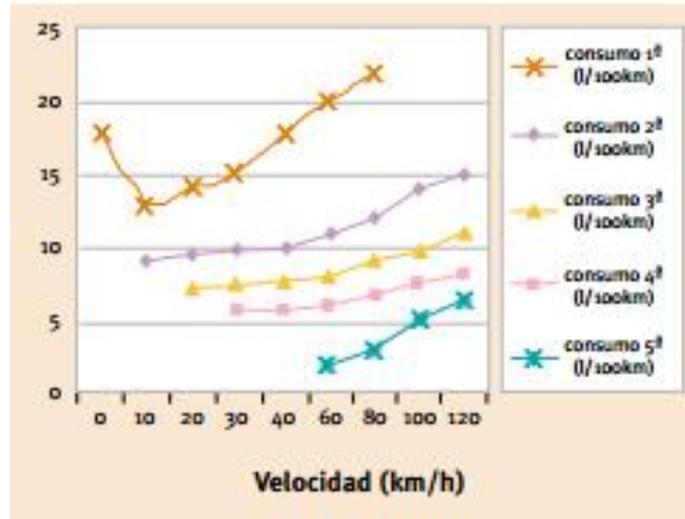


Figura 13. Consumos medios estimados por velocidad y marcha

En la tabla 4 se recoge el impacto que tienen los diferentes factores estudiados en el consumo extra de carburante, cifras extraídas de (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado, 2002), (Ministerio del Interior, 2008), (Accor, 2009) y (SIRA S.C., 2009) .

| Ecoparámetros                                               | Consumo extra |
|-------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Incorrecto arranque y cambio de marchas del vehículo</b> | +25%          |
| <b>Incorrecta elección de la marcha de forma prolongada</b> | +20%          |
| <b>Aire acondicionado encendido</b>                         | +10%-20%      |
| <b>Ventanillas abiertas a 120km/h</b>                       | +7%           |
| <b>Presión de los neumáticos (Déficit de 1 bar)</b>         | +6%           |
| <b>Exceso de peso</b>                                       | +5%/100kg     |
| <b>Uso de accesorios montacargas</b>                        | +7.5%-39%     |
| <b>Uso del sistema de alumbrado</b>                         | +2%           |
| <b>Uso de motor gasolina sobre diésel</b>                   | +10%          |
| <b>Coche con antigüedad superior a los 25 años</b>          | +95%          |

Tabla 4. Impacto en consumo de los diversos factores relacionados

Como observamos, en el peor de los escenarios podríamos llegar a duplicar o hasta triplicar fácilmente el consumo de gasolina si realizamos una conducción totalmente irresponsable, especialmente si nuestro vehículo ha sido fabricado hace más de 25 años como refleja la tabla 4. (Ministerio del Interior, 2008)

En cuanto al uso de accesorios montacargas, varía tanto dependiendo del accesorio y la carga que se transporte, como refleja la figura 14.

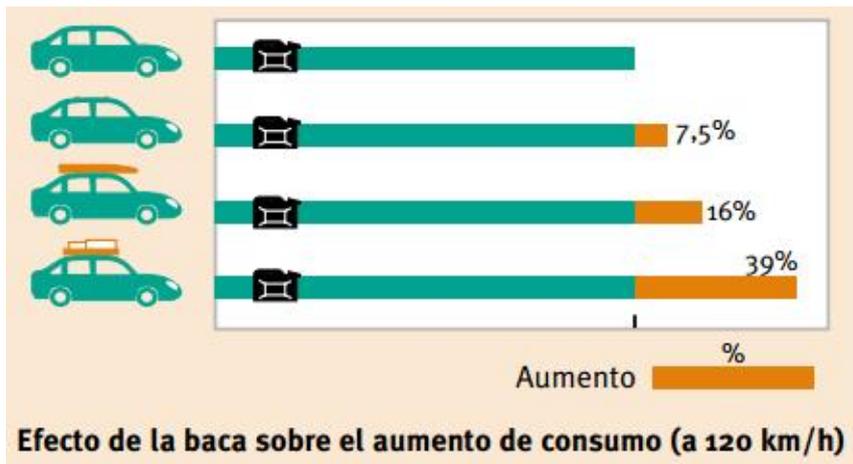


Figura 14. Impacto del transporte de equipaje sobre el vehículo

De todo lo anterior se deduce que, en efecto, influye enormemente la actitud del conductor a la hora de reducir el gasto de carburante. De aquí en adelante vamos a tratar de aplicar en nuestro simulador alguno de los factores mencionados.

## 4. Simuladores de conducción existentes en el mercado.

### 4.1. DriveSIM

Es uno de los simuladores más exitosos y profesionales. Ha sido desarrollado por el Instituto Tecnológico de Castilla y León para la empresa Arisoft S.A. (DriveSim Simulation S.A., s.f.), (Instituto Tecnológico de Castilla y León, 2014)

Está programado en Unity para ser utilizado en Windows. Fue el ganador del Fun & Serious Games Festival de 2014 en la categoría de Mejor Juego de Estrategia Empresarial y, además, ha sido finalista de los Unity Awards 2014, en cuya edición fue Hearstone quien ganó el Golden Cube.

#### Características específicas relevantes:

- Configuración del vehículo:
  - Gasolina/Diésel.
  - Tracción trasera, delantera o 4x4.
  - Manual o automático.
  - Motor de 88CV, 114CV o 147CV
- Escenarios: Tramo urbano, de carretera, autopista y de montaña
- Climatología: Soleado, lluvioso, niebla. Amanecer, superficies deslizantes y nieve.
- Tráfico y peatones con Inteligencia Artificial.
- Idiomas: Inglés, Español, Alemán, Portugués, Vasco, Catalán, Francés, Chino, Italiano, Árabe.
- Adaptación de las señales de tráfico al país.



Figura 15. Captura de DriveSim

Está dividido en **4 módulos**:

- **Módulo 1: Circuito Inicial de Entrenamiento:**  
A modo de toma de contacto con el vehículo, familiarización con los controles y periféricos de la cabina.
- **Módulo 2: Educación Vial Básica:**  
En este módulo se enseñan algunas maniobras básicas: Adelantamientos, gloriétas, carriles especiales e importancia de la presión en los neumáticos.
- **Módulo 3: Educación Vial Avanzada:**  
Es el más amplio y se permite conducir por todos los tipos de escenario urbano, interurbano y de autopista en 4 modalidades: Principiante (Sin tráfico), Práctica (Con tráfico ligero), Práctica Avanzada (Con tráfico denso) y Evaluación (Donde se explican los fallos cometidos).
- **Módulo 4: Conducción Eficiente:**  
Se permite la conducción por los mismos escenarios pero se centran en la indicación del consumo y emisiones de gases. Además permite modificar la mayoría de los ecoparámetros citados en el capítulo 3.1 y observar la variación de consumo.

Para ser utilizado se necesita adquirir junto a una cabina completa (*Cockpit DRIVE SEAT 550ST*) y un salpicadero especial (DS-PAD) cuyo precio alcanza los 3.751,00 € y que constan de:

- Asiento deportivo.
- Volante, set de pedales y caja de cambios (Similar a la utilizada en este proyecto).
- 3 pantallas de televisión de 42 pulgadas para visión frontal y laterales.
- Compartimento para la torre de ordenador.
- DS-PAD: Con palanca de intermitentes, limpiaparabrisas, llave de ignición, cinturón de seguridad, freno de mano y luces de emergencia.



Figura 16. Cabina DriveSeat necesaria para utilizar DriveSIM

## 4.2. City Car Driving

Desarrollado por la compañía Forward Development para Windows en 2007. Es más similar a un videojuego convencional para PC. A pesar de ser más antiguo que el resto, esto tiene algunas ventajas como, por ejemplo, la posibilidad de realizar modding o de que se expanda la ciudad con actualizaciones. Por otro lado, también tiene desventajas como la continua conexión a Internet requerida o el enfoque menos dedicado a la enseñanza y más al disfrute o práctica personal. (Forward Development, 2010) (Tracción Trasera, 2016)

### Características específicas relevantes:

- Manual o automático.
- Utilizable con teclado o volante.
- Idiomas: Inglés, Español, Alemán, Portugués, Francés, Chino, Italiano, Japonés, Turco, Checo.
- Adaptación a las señales de tráfico entre versiones europeas y estadounidenses.
- Conducción en vehículos con el volante a la derecha como si se estuviera en Reino Unido, Japón o Australia.
- Soporte para conductores zurdos.
- Climatología: Soleado, lluvioso, niebla. Amanecer, superficies deslizantes y nieve.
- Configuración de situaciones repentinas de peligro: coche en dirección contraria o invadiendo un carril adyacente, peatones cruzando por sitios indebidos, semáforos estropeados, etc.
- Función de *replay* para analizar fallos y ejercicios.
- Existencia de *parkings* multinivel para realizar aparcamientos complejos.
- 24 misiones de conducción de diferentes niveles como, por ejemplo, conducción de autobús de escuela. Al ir completándolas, se desbloquean distritos y vehículos nuevos para motivar al usuario.
- Tranvías en las ciudades.
- Los vehículos se deforman y dañan al colisionar.
- Soporte para el uso de volante (Incluido el modelo Logitech G27), las gafas Oculus Rift para experimentar realidad virtual o la cámara TrackIR, que reconoce hacia qué parte de la pantalla diriges la vista para rotar la cámara.
- Ajuste de los espejos para obtener mayor visión.
- Puede ser modificado y compartido por otros usuarios para cambiar las físicas, añadir modelos nuevos de coches, señales...
- Requiere conexión constante a Internet



Figura 17. Captura de City Car Driving

### 4.3. Simescar

Está desarrollado por parte de la empresa española Simumak, que tiene presencia en multitud de países y está especializada en la creación de simuladores, no solo en el ámbito de la conducción en coche, camiones, autobuses, motocicletas e incluso avionetas sino además en el uso de maquinaria pesada como excavadoras, carretillas elevadoras, toros, grúas, *dumpers*, perforadoras,... (Simumak, s.f.)

Su versión para coche, Simescar, está más enfocada al uso por parte de autoescuelas al contar con dos herramientas muy importantes para ellas: el **puesto de Instructor** y el software **Sócrates**. Además cuenta con:

- Interacción en tiempo real con la simulación mediante el Puesto de Instructor que interactúa con la simulación en tiempo real: genera vehículos, obstáculos en la vía, fallos mecánicos del vehículo,...
- Cambia las condiciones meteorológicas y el paso del tiempo.
- Altera la agresividad y cantidad del tráfico.
- Permite comunicarse con el alumno en tiempo real y lo visualiza en todo momento.
- Modo observador, eventos, examen y *replay*.
- Simulación de conducción en estado de embriaguez para concienciación en seguridad vial.
- Variedad de escenarios: cruces, autopista, ciudad, puerto de montaña, glorietas, pista de pruebas y adelantamientos.

- Variedad de puntos de inicio y de entornos específicos dentro de cada escenario seleccionado.
- Conducción con condiciones meteorológicas con intensidad modificable: soleado, nocturno, amanecer, atardecer, lluvia, niebla y tormenta.
- Parametrización de intensidad de agresividad del resto de coches y/o peatones del entorno.
- Gestión de usuarios y sesiones gracias a la herramienta de software administrativo Sócrates.



*Figura 18. Captura de Simescar*

Además es necesario adquirir una cabina de conductor para su uso, disponible en tres versiones de prestaciones diferentes: Simescar Silver, Bronze y Ambar.

**SIMESCAR SILVER – SMCSLV**



**SIMESCAR BRONZE – SMCBRZ**



**SIMESCAR AMBAR – SMCAMB**



*Figura 19. Diferentes versiones de las cabinas Simescar*

## 4.4. SmartSIM

Desarrollado por la multinacional tecnológica INDRA para la CNAE (Confederación Nacional de Autoescuelas). (CNAE Editorial, 2015)

Necesita del uso de una cabina especializada, que se compone de:

- Asiento regulable.
- Cinturón de seguridad.
- Cuadro de Instrumentos completo.
- Volante con sistema de fuerzas motorizado.
- Pedales: embrague, freno y acelerador.
- Palanca de Cambios manual / automática.
- Llave de Contacto.
- Interruptor y Palanca de Luces.
- Interruptor de Luces de Emergencia.
- Palanca de Intermitentes.
- Palanca de Limpiaparabrisas.
- Palanca de *Retarder*.
- Palanca de Freno de Estacionamiento.
- Claxon.

Cuenta con la mayoría de las características de los simuladores arriba mencionados:

- Variedad de escenarios:
  - Circuitos de Maniobras.
  - Circuito Urbano / Interurbano.
  - Carretera convencional.
  - Autovía.
  - Escenario todoterreno.
- Condiciones Meteorológicas:
  - Despejado.
  - Lluvia.
  - Nieve.
  - Niebla.
  - Día/Noche.
- Adherencia:
  - Seco.
  - Mojado.
  - Helado.
- 2 modos de uso:
  - Prácticas preprogramadas.
  - Controladas por el instructor.
- Generación de informes con evaluación y progreso de los alumnos.

Y además incluye:

- Posibilidad de instalar sistemas de movimiento de 2 a seis grados de libertad.

- Permite que varias cabinas funcionen al mismo tiempo controladas por una posición de instructor.
- El instructor puede conducir cualquier vehículo del tráfico para interactuar con el vehículo del alumno.



Figura 20. Captura de pantalla de Smart Sim

## 4.5. Comparativa entre los simuladores de conducción

Se observa que en aquellos simuladores en los que se usa una cabina especial para aparentar el compartimento del vehículo desaparece el volante de la vista interior para evitar verlo dos veces, una físicamente y otra en la pantalla.

Ventajas específicas de cada simulador respecto al resto:

DriveSim:

- ✓ Contempla el gasto de combustible y emisión de gases, en ese aspecto es quizá el más completo.
- ✓ Uso de motores de gasolina y diésel.
- ✓ Es el más versátil en cuanto a configuración del vehículo y del entorno.
- Su principal debilidad es que no dispone de repeticiones en video de las prácticas realizadas.

City Car Driving:

- ✓ Es el más asequible al no necesitar de una cabina especializada.
- ✓ Puede realizarse *modding* sobre él.
- ✓ Soporte de hardware adicional, como Oculus Rift o Track IR.
- ✓ Soporte para conductores zurdos y vehículos con el volante situado en la parte derecha.
- ✓ Existencia de tranvías junto al tráfico.
- No está integrado en el uso de ninguna cabina con hardware especial.

Simescar:

- ✓ Aunque los cuatro tienen un gran apartado gráfico, quizá este sea el más vistoso.
- ✓ Cuenta con el puesto de instructor para observar, examinar y poner a prueba al alumno.
- ✓ La herramienta Sócrates le permite gestionar al instructor los perfiles de todos los alumnos y mantener un seguimiento de su progreso.

- ✓ Cuenta con tres modelos de cabinas diferentes en función de las necesidades de la autoescuela.

Smartsim:

- ✓ Permite la interacción de varios puestos en la misma simulación.
- ✓ El instructor puede tomar el control de cualquier vehículo del tráfico para interactuar con los alumnos.
- ✓ Permite instalar un sistema de libertad dentro de la cabina para aumentar el realismo.

## 5. Tecnologías existentes.

### 5.1. Motores gráficos 3D

Hoy en día existen una amplia variedad de motores gráficos destinados a la creación de videojuegos, pero en los utilizados en PC y consolas de última generación hay cuatro que se reparten gran parte del mercado: Unity, CryEngine, Source y Unreal Engine.

#### 5.1.1. Unity 5



Figura 21. Logotipo de Unity 5

Unity 5 3D es una herramienta de la que se benefician numerosos grupos de desarrolladores y *freelances*, es muy válida también para principiantes y usuarios que no disponen de recursos suficientes para contratar a otras personas para el desarrollo de juegos. Es una plataforma de desarrollo para Windows, OS y Linux, que permite crear juegos para estas plataformas y además Xbox One, PlayStation 4, Playstation Vita, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android y Windows Phone. Gracias al *plugin web* de Unity, también se pueden desarrollar videojuegos de navegador para Windows y Mac. (Pivot Studio, 2015)

El lema de la compañía es "democratizar el desarrollo de juegos", y hacer el desarrollo de contenidos interactivos en 2D y 3D lo más accesible posible a tantas personas en todo el mundo como sea posible. Fue lanzado el 3 de marzo de 2015 y es la herramienta utilizada para el desarrollo de algunos títulos exitosos como Hearthstone, Temple Run, Crossy Roads o Deus Ex. Al ser un motor de propósito general no da nada hecho, pero permite empezar desde unas bases e ir implementando posteriores detalles.

Una de sus grandes ventajas reside en el uso de un falso modo 2D, comúnmente llamado 2.5D, el cual realmente es un entorno tridimensional optimizado para implementar vistas ortogonales y simular el efecto de un 2D convencional. Esto le permite beneficiarse de una forma práctica y sencilla de una serie de efectos visuales atractivos para el jugador como, por ejemplo, acercamiento o alejamiento de la cámara, profundidad de capas, efectos de giro, etc. (Iván García Subero, 2014)

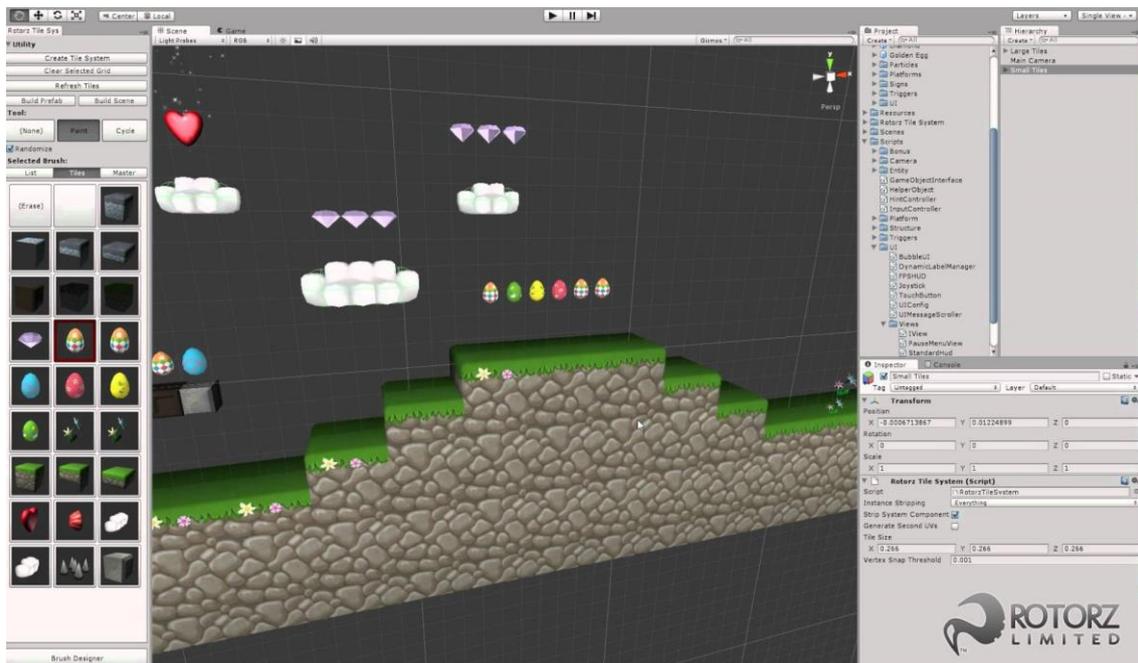


Figura 22. Ilustración del editor en un juego 2.5D

Características de Unity 5 respecto a versiones anteriores: (Pivot Studio, 2015)

- Incluye nuevos efectos de iluminación global en tiempo real en todas las plataformas, nuevos *shaders* (Efectos sobre las texturas que dictaminan como interaccionan con la iluminación) con mejores acabados, cuenta con un avanzado mezclador de audio para el diseño de audio y un Sistema avanzado de interfaz gráfica (GUI) fácil de manejar y personalizar.
- El editor ahora cuenta con soporte para sistemas de **64 bits**. También cuenta con nuevas físicas desarrolladas con el motor de Nvidia *PhysX 3.3*, así como laposibilidad de implementar anuncios publicitarios en videojuegos móviles de manera sencilla. Una de las características más importantes es la posibilidad de exportar a Web tanto en 2D como en 3D y que el juego funcione sin ningún tipo de *plugin* gracias a su Soporte para Web GL. También posee mejoras para las máquinas de estados y árboles de animación.
- En noviembre de 2010 se lanzó el **Unity Asset Store** que es un mercado de recursos disponible en el editor de Unity. Más de 150.000 usuarios de Unity pueden acceder a la colección de más de 4.400 paquetes de Assets en una amplia gama de categorías, incluyendo modelos 3D, texturas y materiales, sistemas de partículas, música y efectos de sonido.
- El *scripting* viene a través de **Mono**, la implementación de código abierto de .NET Framework. Los programadores pueden utilizar UnityScript (un lenguaje personalizado inspirado en la sintaxis ECMAScript), C# o Boo (que tiene una sintaxis inspirada en Python). A partir de la versión 3.0, Unity añade una versión personalizada de MonoDevelop para la depuración de scripts.
- **Mecanim** es la tecnología de animación de Unity, que ha estado en desarrollo durante años. La tecnología está diseñada para llevar el movimiento fluido y natural de los personajes con una interfaz eficiente. Mecanim incluye herramientas para la creación

de máquinas de estados, árboles de mezcla y *retargeting* automático de animaciones, desde el editor de Unity.

- Unity también incluye Unity Asset Server, una solución de control de versiones para todos los assets de juego y scripts, sistema de audio con capacidad para reproducir audio comprimido, reproducción de vídeo, un motor de terreno y vegetación, determinación de cara oculta, una función de iluminación *lightmapping* y global, redes multijugador y una función de búsqueda de caminos en mallas de navegación.
- Software con funcionamiento integrado: 3ds Max Studio, Maya, Softimage, Blender, Modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks y Allegorithmic Substance.
- El motor gráfico utiliza Direct3D en Windows, OpenGL en Mac y Linux, OpenGL ES en Android y iOS, e interfaces propietarias para Wii. Tiene soporte para mapeado de relieve, reflexión de mapeado, mapeado por paralaje (*parallax mapping*), , sombras dinámicas utilizando mapas de sombras, *render* a textura y efectos de post-procesamiento de pantalla completa.
- Cuenta con la herramienta de debugging **Profiler** para analizar el rendimiento de la aplicación en términos de carga sobre el procesador y la tarjeta gráfica, desglosado en función de su origen: scripting, procesado de físicas, dibujado... (Pivot Studio, 2015)

La licencia **Unity Pro**, imprescindible para empresas que facturan más de 100.000 dólares al año, tiene un coste de 1.500 dólares, aunque también se puede alquilar por 75 dólares al mes o usar la versión gratuita, con características recortadas.

### 5.1.2. Source 2 Engine



Figura 23. Logotipo de Source 2 Engine

Es el motor gráfico responsable de exitosas sagas referente en el mundo de los videojuegos como Counter-Strike, Half-Life, Team Fortress, Left for Dead, Portal o DOTA. Desarrollado por VALVe para Windows 32/64bits y con debut en 2004 con Counter-Strike: Source, ha conseguido tantos seguidores en parte por su revolucionaria plataforma de distribución y juego *online* **Steam**, que a diferencia de sus competidores, le permite integrar mejoras constantemente a base de actualizaciones, en vez de realizar cambios bruscos entre versiones.

Para el diseño de mapas cuenta con su propia herramienta llamada Valve Hammer Editor, incluida como un componente más en la Source SDK. También permite la interacción con *scripts* e inicio de eventos.

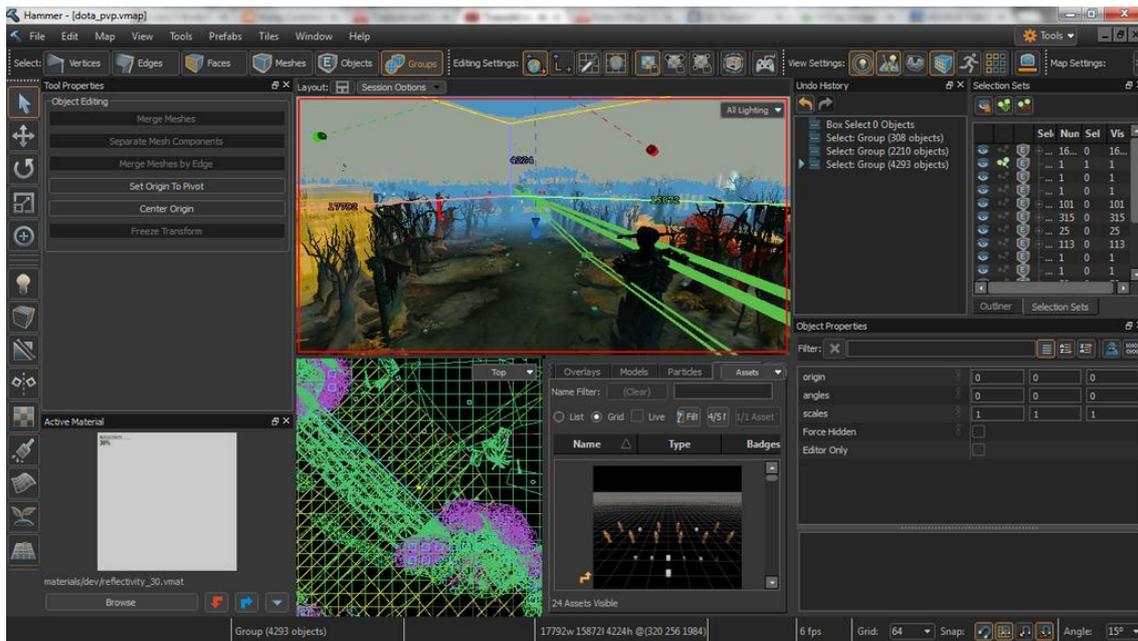


Figura 24. Captura de pantalla del Valve Hammer Editor

Entre las características más importantes que le han hecho alcanzar el éxito se encuentran: (ValvE, 2008)

- Renderizado con DirectX en Windows y Xbox y con OpenGL en Linux, MacOS y Android.
- Integración con Steam en Windows, MacOS, Linux, PS4 y Xbox One.
- *Renderizado HDR (High Dynamic Range)*
- Sistema de animación facial y Lip-Sync integrado y autogenerado.
- Mapas de iluminación y sombras dinámicos pre-computados.
- Efecto de simulación de agua
- Soporte escalable multi-procesador.
- Motor de física eficiente en ancho de banda para red.

### 5.1.3. CryEngine 3

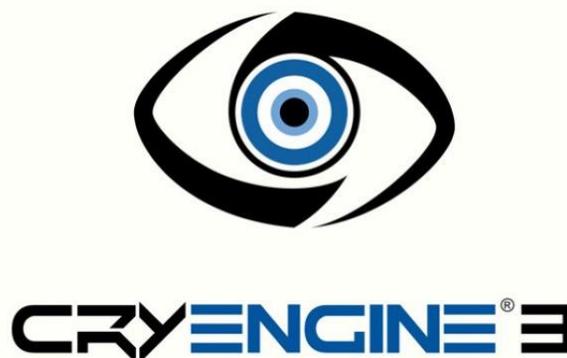


Figura 25. Logotipo de CryEngine 3

Se trata de un motor muy potente y presente en los videojuegos de última generación. Es un motor de juego desarrollado por la empresa alemana Crytek a raíz del éxito y potencial gráfico del primer título de la saga FarCry en 2006. A partir de este momento, Ubisoft adquiere la totalidad de los derechos de CryEngine. En 2009 se presentó la actual versión CryEngine 3 con el título Crysis 2 para ordenador, PS3 y Xbox360, pero este año 2016 se ha presentado la última versión **CryEngine V**.

Se permite usar su SDK gratuitamente a proyectos sin ánimo de lucro, aunque para sacarle todo el provecho al motor, se puede adquirir una licencia por 9,90 dólares al mes si se es desarrollador independiente.

Características principales:

- Sistema de tiempo del día completamente flexible.
- Mapeo de desplazamiento de precisión al píxel: esto permite la representación de formas geométricas complejas sin bordes en las mallas.
- Niebla volumétrica y sombras en partículas: Lo cual permite aplicar sombras y luces en niebla.
- Destellos de lente para simular el sol, integrados con el sistema de tiempo del día.
- *Renderizado* complejo de agua.
- Realismo del comportamiento y *renderizado* de vegetación.

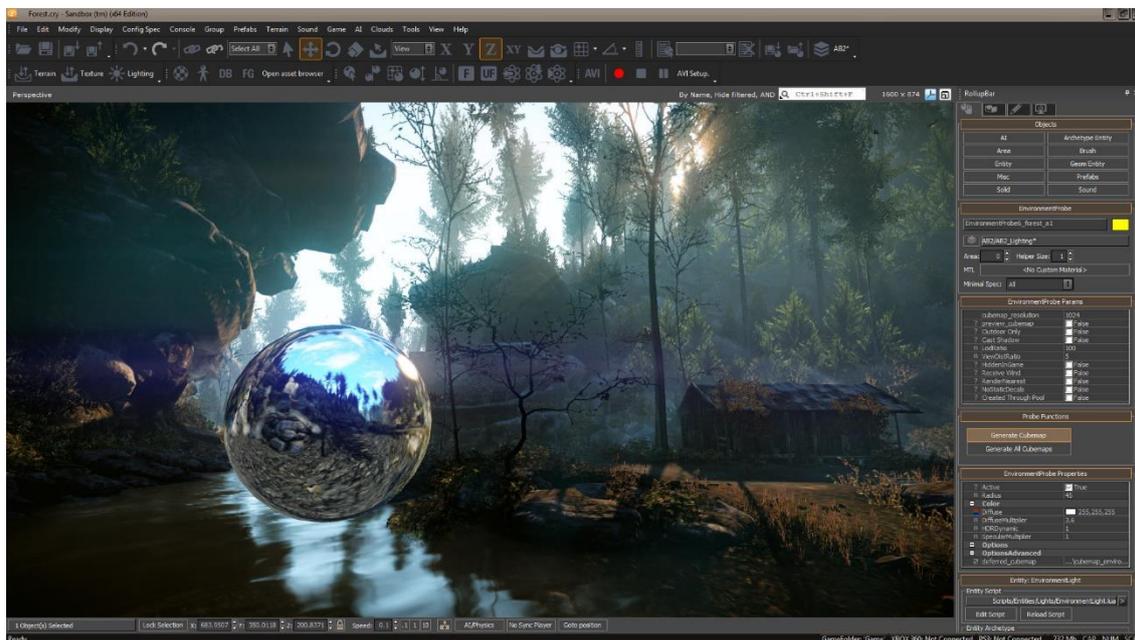


Figura 26. Captura de pantalla del editor de Cry Engine 3

#### 5.1.4. Unreal Engine 4

Desarrollado por la compañía Epic Games a raíz del potencial de Unreal Tournament en 1998, es considerado el motor más potente por los expertos y está detrás de muchos videojuegos triple A de última generación, sobretudo en consolas, algunos de

ellos son las sagas de Gears of War, Bioshock y Mass Effect. También permite el desarrollo de aplicaciones para otros dispositivos como iOS y Android, en 2D y 3D.



Figura 27. Logotipo de Unreal Engine 4

Su licencia es gratuita pero, a cambio, se debe pagar un 5% de las ganancias que se obtengan con las aplicaciones o juegos creados, a partir de los primeros 3000 dólares ganados. Dispone de servidor de descarga de *assets* llamado MarketPlace con su propia comunidad que aporta contenido gratuito o de pago.

Entre las características principales encontramos que está formado por diferentes módulos que trabajan entre sí para formar el producto final: (Epic Games, 2016)

- *Renderizado* usando DirectX 11 y 12.
- Efectos visuales con *Cascade*.
- Efectos de animación con *Persona*.
- Editor de materiales.
- Editor de Colliders estáticos.
- Efectos de Cinemática con *Matinee*
- Editor del comportamiento de Scripts con *Blueprint*.
- Editor de terrenos y vegetación.
- Previsualización instantánea del estado del juego.
- Características de Inteligencia Artificial avanzada.



Figura 28. Captura de pantalla del editor de Unreal Engine 4

### 5.1.5. Comparativa entre los motores gráficos 3D

En cuanto a las características presentes de igual manera en los cuatro motores encontramos:

- Soporte 2D y/o 3D.
- Herramientas de edición de mundos.
- Lenguaje de programación C++ o C#.
- Motor de físicas.
- Características de Inteligencia Artificial avanzada.
- Características avanzadas, como *occlusion culling*, *lightmapping*, *shaders*, editor de terrenos, sistemas de partículas...

Se puede extraer que, si bien podríamos desarrollar nuestro simulador en cualquiera de estas plataformas, Unity nos ofrece la mayor **versatilidad y facilidad de uso**, además es el motor con la comunidad de usuarios más extensa que aporta conocimientos y *assets*.

En cuanto a las diferencias básicas entre los motores, se pueden encontrar en la Tabla 5.

|                 | Soporte 2D/3D | Plataformas principales | Lenguaje de programación | Motor de físicas | Licencia <sup>3</sup> |
|-----------------|---------------|-------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Unity 5 3D      | 2D/3D         | Tablet y Smartphone     | C#/Boo/ Javascript       | PhysX            | Gratuita Pro:75\$/mes |
| Source Engine   | 3D            | PC                      | C++                      | Propio           | 1500\$ o 75\$/mes     |
| CryEngine 3     | 3D            | PC, PS4, Xbox one       | C++/C#/Lua               | Propio           | Gratuita              |
| Unreal Engine 4 | 2D/3D         | PC, PS4, Xbox one       | C++                      | PhysX            | Gratuita              |

Tabla 5. Comparativa de características principales de los motores gráficos

<sup>3</sup> Gratuita: Con regalías sobre los beneficios obtenidos.

## 5.2. Software de modelado

En lo relativo al software necesario para realizar modelos tridimensionales que animar o a los que conceder física dentro de Unity, existen numerosas opciones. Aunque Unity cuenta con un primitivo editor de formas geométricas, no es suficiente, ya que la aplicación de texturas, mapas de sombreado o mapas de normales se hace de forma exterior. En este proyecto, salvo para casos simples o concretos, se ha optado por utilizar modelos creados por la comunidad con licencia gratuita no comercial, ya sea del Asset Store o de páginas exteriores. De este modo agilizamos notablemente el proceso al no tener que modelar uno por uno los objetos que queremos incluir en los escenarios.

A continuación se exponen de manera muy breve los principales programas software que se utilizan para este cometido. Estos son 3dsMax Studio, Blender, Maya y Cinema 4D.



Figura 29. Logotipos de 3dsMax, Blender, Maya y Cinema 4D

### 5.2.1. 3ds Max

Es ampliamente uno de los programas de animación 3D de propósito general más utilizado por la industria en todo el mundo, especialmente para la creación de videojuegos, anuncios de televisión, en arquitectura o en películas. Antes conocido como 3ds Studio Max, está desarrollado por Autodesk y lleva un gran recorrido a sus espaldas ya que la primera versión se vendió en 1990 para DOS. Pasó a llamarse Autodesk 3ds Max en 2001.

Es capaz de realizar tareas de modelado, mapeado UV, texturizado, *rigging*, *weighting*, animación, simulación de partículas, *scripting*, *renderizado*, composición y post-producción. Además tiene una gran interactividad con los videojuegos, de hecho se ha utilizado para desarrollar algunos títulos como Tomb Raider I y II, Red Alert, Diablo y Warcraft.

Es compatible con cantidad de *plugins* para aplicar efectos concretos e incluso permite la creación de *plugins* personales para compartirlos con la comunidad.

Todo esto también influye en el precio, contando con una licencia de en torno a los 5000€ para empresas.

### 5.2.2. Blender

Es la solución más asequible para *freelances* ya que es gratuito, *open source* y permite llevar a cabo la mayoría de las funciones de Autodesk 3ds Max. Por contrapartida, tiene una interfaz poco intuitiva y su curva de aprendizaje es complicada.

Su enfoque está destinado más a la animación de video en tiempo real y modelado tridimensional. Es multi-plataforma, con una interfaz unificada para todas las plataformas basada en OpenGL, listo para ser usado en todas las versiones de Windows, Linux y OSX.

Entre algunas de sus características se destacan:

- Simulaciones dinámicas para *softbodies*, partículas y fluidos.
- Sistema de partículas estáticas para simular cabello, al que se han agregado nuevas propiedades entre las opciones de *shaders* para lograr texturas realistas.
- Capacidad para una gran variedad de primitivas geométricas, incluyendo curvas, mallas poligonales, vacíos, NURBS, *metaballs*..
- Junto a las herramientas de animación se incluyen cinemática inversa, deformaciones por armadura o cuadrícula, vértices de carga y partículas estáticas y dinámicas.
- Edición de audio y sincronización de video.
- Características interactivas para juegos como detección de colisiones, recreaciones dinámicas y lógica.
- Lenguaje Python para automatizar o controlar varias tareas.

### 5.2.3. Maya

Es uno de los más populares en la industria del cine y los efectos especiales junto a Zbrush. Tiene una curva de aprendizaje complicada y una interfaz poco intuitiva, además de una documentación escasa. Por contrapartida obtenemos unos resultados excelentes cumpliendo las funciones básicas de 3ds Max y Blender, destacando en: (Autodesk, s.f.)

- Terminado inicial más preciso de la geometría de los esqueletos, gracias a un nuevo método de creación de recubrimientos en mapas térmicos.
- Simulación de cuerpos blandos y rígidos en un único sistema gracias al motor AMD de alto rendimiento y fuente abierta Bullet Physics, capaz de crear simulaciones de gran realismo de tejidos, cuerdas, objetos deformables y esqueletos.
- Renderizadores Mental ray integrados con herramientas foto-realistas: Iluminación global, *gathering* final, caustica, oclusión ambiental, reflexiones, refracciones borrosas y partículas en movimiento.

Además se divide en diferentes módulos integrados en el entorno de simulación unificada Maya Nucleus para aportar características adicionales más personalizables y versátiles.

- Maya nParticles: Simulación de un amplio rango de efectos visuales 3D, que incluyen líquidos, nubes, humo, *spray* y polvo.
- Maya Fluid Effects: Simulación y *renderizado* de efectos de líquidos atmosféricos, explosivos, viscosidad y agua.
- Maya nCloth: Creación de vestimenta realista y otros materiales deformables.
- Maya nHair: Creación de mallas dinámicas para la simulación de cabello con un buen acabado a través de texturas y *shaders*.

### 5.2.4. Cinema 4D

Fue creado por la compañía MAXON con debut en 1996. Es una herramienta más enfocada a la creación de contenido tridimensional para el post-renderizado de video, efectos especiales para cine, televisión, publicidad, etc. Algunas de las compañías que hacen uso de este software son: ABC, Blizzard Entertainment, BMW, CNN, Fox, NBC, Siemens, Sony Pictures y The Walt Disney Company.

Sus puntos fuertes son una interfaz jerárquica intuitiva con sistema de arrastre (*drag & drop*) y una curva de aprendizaje relativamente sencilla. Además cuenta con:

- Modelación orgánica y no orgánica.
- Sombreado en tiempo real.
- Completa simulación de la dinámica de cuerpos rígidos y blandos.
- Sistema de partículas y fluidos.
- Dinámica avanzada de la física de la ropa, cabello, tela,...

### 5.2.5. Comparativa entre las alternativas de software de modelado

La siguiente comparativa ha sido parcialmente extraída del artículo de un profesional de la enseñanza de C for Graphics (Saint-Moulin, 2007) en el que se comparan diferentes alternativas de software de modelado y diseño gráfico. Ha sido actualizada con algunos datos que han cambiado desde su edición.

|                                                              | Autodesk<br>3ds max                                                                 | Autodesk<br>Maya                                                                                                                                                                                                                                            | Blender 3D                                                                                                                                                                                                                                                       | Maxon<br>Cinema4D                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enfoque principal                                            | Videjuegos                                                                          | Videjuegos<br>Cine                                                                                                                                                                                                                                          | Modelado<br>Animación                                                                                                                                                                                                                                            | Televisión<br>Publicidad                                                                                                                                                    |
| Precio de la licencia                                        | <b>1300€/año</b>                                                                    | <b>1300€/año</b>                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Gratuito</b>                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>3600€</b>                                                                                                                                                                |
| Plataformas                                                  |  |    |    |   |
| Curva de aprendizaje                                         | < 2 meses                                                                           | < 3 meses                                                                                                                                                                                                                                                   | < 3 meses                                                                                                                                                                                                                                                        | < 1 mes                                                                                                                                                                     |
| Interfaz                                                     | Estilo CAD,<br>sencilla y<br>potente                                                | Flexible y<br>potente, no<br>demasiado<br>intuitiva                                                                                                                                                                                                         | No sigue los<br>estándares de la<br>industria                                                                                                                                                                                                                    | Sencilla e<br>intuitiva                                                                                                                                                     |
| Calidad general                                              | Excelente                                                                           | Excelente                                                                                                                                                                                                                                                   | Buena                                                                                                                                                                                                                                                            | Buena                                                                                                                                                                       |
| Herramientas de animación ( <i>Rigging</i> , Controlador...) | Muy buena                                                                           | Excelente                                                                                                                                                                                                                                                   | Buena                                                                                                                                                                                                                                                            | Buena                                                                                                                                                                       |
| Calidad de pintura                                           | Buena                                                                               | Muy buena                                                                                                                                                                                                                                                   | Baja                                                                                                                                                                                                                                                             | Excelente                                                                                                                                                                   |

|                           |                         |                              |                                 |                   |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Calidad de modelado       | Excelente               | Muy buena                    | Buena                           | Muy buena         |
| Dinámica/Cuerpos rígidos. | Muy buena               | Excelente                    | Muy buena                       | Excelente         |
| Cuerpos blandos           | Muy buena               | Muy buena                    | Buena                           | Buena             |
| Calidad de pelo           | Muy buena               | Muy buena                    | Buena                           | Muy buena         |
| Calidad de ropa           | Muy buena               | Muy buena                    | Buena                           | Muy buena         |
| Sistema de partículas     | Excelente               | Muy buena                    | Buena                           | Excelente         |
| Calidad de fluidos        | Muy buena               | Muy buena                    | Muy buena                       | Buena             |
| Calidad de sombras        | Excelente               | Excelente                    | Muy buena                       | Buena             |
| Módulo más importante     | Biped<br>Particles Flow | PaintFX<br>Fluids<br>Nucleus | 3DRT<br>Sculpting<br>Video edit | Model<br>Painting |
| Scripting                 | Buena                   | Excelente                    | Muy buena                       | Buena             |

## 6. Desarrollo y análisis del simulador de Conducción.

### 6.1. Tipos de escenarios

Para llevar a cabo este objetivo se han desarrollado tres escenarios bien distintos en los que se ponen a prueba las habilidades del conductor: Un escenario de adaptación, uno interurbano y uno interprovincial.

#### 6.1.1. Escenario de adaptación

Como su propio nombre indica, el objetivo de este escenario es, meramente, dejar un espacio al usuario donde pueda acostumbrarse al manejo del automóvil. Consta de un pequeño circuito para que, sobre todo si se está utilizando un volante, se coja confianza rápidamente con la toma de curvas, el cambio de marchas y los pedales, además de un conjunto de obstáculos en posiciones estratégicas para obligar al usuario a efectuar giros. Además, se le indican al usuario los controles de intermitentes, luces, cámara...

#### 6.1.2. Escenario urbano

Se trata en parte de una recreación a escala de un tramo de la Ronda Norte de Valladolid, el cual consta de 2.1Km de largo por 550m de ancho. El porqué de esta decisión reside en ser capaces de comparar a efectos prácticos el gasto de combustible de un conductor en la vida real y en el simulador al realizar el mismo recorrido.

Para llevar a cabo su modelado se ha creado un *Terrain gameobject* con esas mismas proporciones. Para concretar la posición de la carretera se ha optado por superponer una imagen en un plano sobre el terreno, ocupando toda su extensión, de tal manera que se visualice en que parte del mapa hay que construir la carretera para que tenga las mismas dimensiones.

Posteriormente, con el fin de aumentar la jugabilidad y construir elementos diferentes, se ha optado por cerrar los tramos superiores e inferiores difiriendo de la realidad. De esta manera, el usuario puede realizar una conducción más natural al no estar obligado a hacer cambios de sentido al llegar al final del mapa. Optamos por construir un tramo llano de carretera secundaria de un solo carril por sentido en la parte superior, y un tramo de montaña de doble carril por sentido en la parte inferior, siendo el resultado el siguiente.

En el escenario urbano contamos con los siguientes elementos distintivos:

- 3 Cruces, los cuales constan de raquetas con semáforos, incorporaciones con ceda el paso y pasos de peatones con y sin semáforo.
- Tramo de carretera secundaria de un carril por sentido.
- Tramo de montaña de dos carriles por sentido.
- Una glorieta con 3 salidas a continuación del tramo de montaña.
- Puente que atraviesa el río Pisuerga
- Accesos por tierra con señales de *stop* a algunas zonas fuera de carretera y sin tráfico.
- Radar con un umbral de 60Km/h.

- Badenes para reducir la velocidad.
- Durante los primeros instantes se genera tráfico de forma estratégica fuera del alcance de la vista del jugador, para que cuando este llegue a los cruces ya estén poblados. Pasado ese lapso, los vehículos únicamente aparecen y desaparecen por los márgenes izquierdo y derecho del mapa, y se respetará un máximo de 50 vehículos en escena (Parámetro configurable).

## Comportamiento esperado

El usuario, tras aparecer en un pequeño carril de incorporación libre de tráfico, es capaz de incorporarse al mismo realizando un ceda al paso. A partir de este momento, se espera que se desplace como un vehículo más, a una velocidad adecuada y respetando semáforos, pasos de peatones y prioridades. Opcionalmente cuenta un sistema de guiado que le lleva a distintos puntos del mapa por la ruta más corta.

En cuanto a la eficiencia, este modelo realiza un consumo de 9,9l/100km por ciudad y un consumo medio de 6,9 l/100km, así que se espera un valor intermedio entre ambos, acorde a un tramo urbano.

### 6.1.3. Escenario interurbano

Este escenario es muy distinto al anterior, en extensión consta de 576km<sup>2</sup> y cubre la mayor parte de la Autovía Valladolid-León que circunvala la ciudad de Valladolid, en contrapartida, para reducir su complejidad y rendimiento, no cuenta con ningún tipo de elevación de terreno. Se ha diseñado así para poder ofrecer al usuario una conducción sin límites lo más parecida a hacer un desplazamiento largo por carretera. En recorrer los kilómetros de carretera cerrada se tarda alrededor de 45 minutos y carteles de señalización indican la existencia de desvíos ficticios hacia los pueblos más cercanos para informar al conductor de forma aproximada sobre su ubicación dentro de la autovía.. El interés de todo esto reside en ser capaz de estudiar los efectos del cansancio en el conductor en otros proyectos del grupo de investigación GTI (Grupo de Telemática e Imagen) a través de sensores optoeléctricos.

#### Tráfico recreado en tiempo de ejecución:

A diferencia del escenario interurbano, donde los vehículos aparecen y desaparecen en los extremos del mapa, aquí pueden aparecer en cualquier punto de la carretera en cualquier momento. Esto presenta tres problemas principales:

- Los vehículos podrían aparecer donde ya existe un vehículo, colisionando con este al instante.
- Los vehículos pueden aparecer en un punto cercano al conductor dentro de su campo de visión, aunque no suponga un problema, no es gráficamente agradable.
- Dadas las dimensiones del escenario, no es posible hacer que todos los puntos generen tráfico porque el manejo de un número excesivamente grande de vehículos hace caer drásticamente el rendimiento de la aplicación y con ello el número de FPS (Frames Por Segundo), repercutiendo negativamente en el manejo del automóvil ya que menos ejecuciones de script por segundo conlleva un mayor retraso en el control del vehículo, también llamado *Lag*.

Para combatir estos problemas es necesario dotar al escenario de un sistema de control de aparición de tráfico (*Spawn*). Para ello se ha optado por otorgar al vehículo del

jugador 2 zonas esféricas concéntricas (*Capsule Triggers*) que se van desplazando con el vehículo a medida que avanza.

- **Zona exterior:** Los puntos del recorrido (En adelante, *Waypoints*) inicialmente no generan tráfico, pero en el momento en que estos entran dentro del alcance de la zona exterior, pueden hacerlo de forma aleatoria en cualquier momento. Con esto se crea un efecto de que a medida que se va avanzando, se van alcanzando vehículos que quedan atrás si es que el conductor tiene una velocidad mayor y los va adelantando.

Para combatir el problema de la aparición de tráfico demasiado cerca de otro vehículo de la IA, se ha optado por asignar de forma intercalada a los *waypoint* un sentido del tráfico, es decir, los *waypoint* impares generan tráfico en un sentido mientras que los pares lo generan en el contrario, de esta manera se reduce notablemente la probabilidad de que dos *waypoint* consecutivos generen tráfico al mismo tiempo.

- **Zona interior:** Cuando los *waypoint* encargados de generar el tráfico entran dentro de esta zona (de un tamaño ligeramente mayor a la distancia de visión de la cámara del conductor), deshabilitan su capacidad de hacerlo. Con esto eliminamos por completo el problema de la aparición repentina de vehículos delante del conductor. Además, para contrarrestar el efecto del rendimiento, los coches que salgan de esta zona (normalmente por detrás de conductor y por lo tanto fuera del campo de visión para siempre) serán eliminados para que, aunque no estén siendo dibujados, el motor de Unity no necesite llevar un registro de su posición y estado.

Para recrear tramos con más densidad y tramos con menos, se puede ir aumentando y disminuyendo en tiempo de ejecución el tamaño de la zona exterior, para así permitir más o menos puntos capaces de generar tráfico dentro de la franja de generación.

### **Comportamiento esperado**

El usuario se suma al tráfico a través de un carril de incorporación. Durante los primeros instantes no contará con tráfico adicional hasta que, o bien sea alcanzado por detrás, o bien sea él quien alcance a los vehículos que tiene por delante en función de su velocidad, la cual es libre de elegir, aunque si está fuera de los límites le será notificado. Se espera que se mantenga dentro de los carriles, efectúe adelantamientos utilizando las indicaciones y respete la distancia de seguridad con los vehículos. Como ya se ha dicho anteriormente, es de esperar que a medida que pasa el tiempo su concentración y estado mental disminuya.

En cuanto a la eficiencia, se espera que realice un consumo de entre 5 y 7 l/100Km.

## **6.2. Características principales y elaboración**

### **6.2.1. El vehículo del conductor**

Se ha optado por elegir como modelo de coche para el conductor un Volkswagen Passat Highline de 2001 para recrear el comportamiento de un modelo de turismo estándar tipo berlina con unas prestaciones medias y de una antigüedad algo elevada ya que según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (Instituto Nacional de Estadística, 2016)“La edad media de los coches que circulan por España ha alcanzado los 11,5 años, en concreto el 53% del parque automovilístico tiene más de 11 años”

Para construir el vehículo se ha optado por partir de la base de un asset preconstruido de la Asset Store llamado RCC Car Controller v2 (Ver Anexo, parte II) y modificar su aspecto y propiedades para que se adapte a nuestras necesidades.

En cuanto a los Gameobject más significativos que componen el vehículo del conductor se cuenta con:

- *Rigid Body* con 1510Kg de peso (Peso real del coche).
- *Mesh Collider* con la forma de la carrocería del chasis.
- *Wheel Colliders* para cada rueda de 370mm de radio.
- *4 Cámaras (Interior, trasera y 2 traseras laterales)* para simular la visión del conductor y los 3 espejos retrovisores.
- *Lights (Spot/Point type)* para recrear las luces de los faros, intermitentes, luces de freno y luces de marcha atrás.
- *Box Trigger* en medio del capó para detectar cuando se conduce por carretera o por tierra, de cara a simular el efecto con el volante y notificar la infracción.
- *2 Sphere Trigger* mucho más grandes que el vehículo para controlar la generación y destrucción de tráfico. De esta manera se consigue que no aparezca tráfico de la nada delante del usuario y se destruya cuando está suficientemente lejos, reduciendo la carga computacional.

Los *Wheel Colliders* son una integración relativamente nueva de Unity., Se trata de un cuerpo con colisión de forma cilíndrica que imita una rueda, se le pueden agregar propiedades de peso, radio, suspensión, adherencia,... Además tiene funciones propias en la biblioteca para simular que el eje de la rueda ejerce una fuerza rotatoria sobre ella, llamada *TorqueWheel()*, al pisar el acelerador. Esta fuerza se ejerce en todas o algunas ruedas del coche dependiendo del tipo de tracción para hacer que el coche avance mientras que otra llamada *BrakeWheel()* tiende a bloquearlas paulatinamente para frenar. El *Collider* del chasis se encuentra integrado inmediatamente superior en el árbol de jerarquía del inspector y por lo tanto se desplaza en función del movimiento de las ruedas. En cuanto al eje horizontal compuesto por el giro del volante, este permite modificar la dirección de las ruedas delanteras a medida que se desplaza hacia un lado para que el vehículo tome una curva.

## 6.2.2. Marchas

Aunque este modelo solamente dispone de cambio manual, se ha querido dar la posibilidad al usuario de conducir en tres modos distintos en lo que a cambios de marcha se refiere:

- 1) Automático (Teclado/Volante): Es el modo más simple y que más se asemeja a los videojuegos convencionales de conducción. Las marchas aumentan una vez se alcanza un umbral de revoluciones y se reducen de la misma manera a medida que se disminuye la velocidad.

Está optimizado para usarse con teclado, pero en cambio para dar marcha atrás no basta con presionar el freno en reposo como sucede en la mayoría de los videojuegos. Es necesario meter la marcha atrás si se usa volante o mantener pulsada la tecla T si se usa teclado.

En este modo se consigue limitar la relación potencia-consumo porque no deja que el motor se revolucione más de lo debido y permite al conductor centrarse en la tarea de conducir por donde quiere al no tener que estar pendiente de la palanca.

- 2) De levas (Teclado/Volante): Pese a no ser así 100%, se trata de un híbrido entre automático y manual, ya que la idea es poder ser usado también con teclado. No es posible que el coche se cale porque no contamos con embrague y no resultaría realista. Por lo tanto este modo es similar al automático pero dando al usuario el control de cuándo se aumenta o reduce de marcha. Así se pone a prueba su juicio para poner en equilibrio potencia y consumo.
- 3) Manual (Volante): Se ha optado por reservar este modo para uso exclusivo con el volante a fin de ganar en realismo y jugabilidad. Al contar con embrague, el conductor cuenta con el extra de efectuar un arranque correcto, así como de conducir en una marcha acorde a su velocidad para evitar el calado del motor, tal y como sucede en la realidad.

Este modo es el que más interés tiene ya que ofrece una dificultad mayor, se aproxima más a la realidad y el consumo queda totalmente a merced de la habilidad del usuario.

### 6.2.3. Tracción (FWD/AWD/RWD)

Análogamente, este modelo está fabricado con tracción delantera, pero es de interés el ofrecer al usuario la posibilidad de experimentar los cambios que se producen en las diferentes configuraciones de tracción.

- *FWD (Front Wheel Direction)*: El par generado por el motor se transmite por completo al eje delantero. Las ventajas de esta distribución son: (Roncero, 2010)
  - Se ahorra peso en la cavidad del motor ya que no es necesario dejar espacio para el túnel de transmisión, y por tanto se reduce el consumo ligeramente.
  - Se consigue una tracción mayor al “tirar” del resto del peso del coche, especialmente en superficies deslizantes como nieve o barro.
  - Es más susceptible de sufrir una avería al chocar con un bordillo o desperfecto.
- *RWD (Rear Wheel Direction)*: El par se transmite a las ruedas del eje trasero, con las consecuentes ventajas:
  - Se reparte mejor el peso entre ambos ejes, el centro de masas se desplaza hacia el centro del vehículo, ganando en adherencia y equilibrio, razón por la cual está presente en los coches deportivos y de carreras.
  - Con dirección delantera (La más habitual) se separa el efecto de tracción y dirección, con lo que las ruedas realizan una sola función al mismo tiempo de manera más efectiva.
  - En curvas muy cerradas o tomadas a mucha velocidad, las ruedas traseras tienden a derrapar hacia el exterior de la curva por el efecto del sobreviraje, provocado por la mayor inercia de la parte trasera.

- *AWD (All Wheel Direction)*: El par se transmite de igual manera a las 4 ruedas, ofreciendo las ventajas de ambas configuraciones y minimizando sus puntos débiles. (National Motorists Association, 2009)
  - o Tiene una tracción aún mayor que FWD, tanto en superficies secas como deslizantes.
  - o Su mayor complejidad aumenta el peso y el coste del vehículo.

#### 6.2.4. Tráfico externo con Inteligencia Artificial

Existen tres tipos de vehículos que representan la inteligencia artificial

Estos se diferencian prácticamente en las dimensiones y en la probabilidad de aparición, que es más alta en turismos, además estos cuentan con un script que cambia el color de su carrocería de forma aleatoria en el momento de su aparición para aumentar la diversidad. Están formados por una serie de componentes en común, que son:

- Malla con el modelo del vehículo en sí.
- *Box collider* y *rigid body* de las dimensiones del vehículo.
- Componentes de luz para simular los faros.
- Detectores laterales para comprobar si hay vehículos en los carriles adyacentes.
- Detector frontal para detectar otros vehículos, semáforos, pasos de cabra...

Para que los vehículos sigan los tramos de carretera se cuenta con la modificación realizada a un asset (*Easy Traffic*, Anexo parte II) en la que una gran cantidad de puntos situados en los márgenes de los carriles (En ahora, *waypoints*) guían a los vehículos de la inteligencia artificial.

El funcionamiento básico es el siguiente:

Una instancia de la colección de vehículos de IA es generada en un *waypoint*, ya sea de forma programada o procedural. Este *waypoint* está identificado por un identificador denominado PD+id, pongamos por ejemplo PD01. A su vez conoce cuál es el siguiente *waypoint* (PD02) y su posición en el mapa, así que nada más aparecer orienta el vehículo de tal manera que lo encare. Progresivamente desplaza el vehículo de forma paralela al vector que une PD01 con PD02 (la distancia indica el carril en el que se encuentra). Cuando el vehículo recorre completamente el vector, se entiende que este ha alcanzado el siguiente *waypoint* y se repite el ciclo, indicando que ahora es PD03 el *waypoint* de destino.

En casos especiales, en los que el vehículo tiene varias posibilidades, se recurre a generar un número aleatorio entre 0 y 1 en el vehículo por código. Dependiendo del resultado de este número y del carril en el que circule se le indica que ha de escoger el *waypoint* PD04 o el PD05 como destino para crear el siguiente vector de desplazamiento.

Cuanto más cercanos estén los *waypoints* entre sí en una curva, más fluidez tendrá la animación ya que lo que realmente hace es avanzar en línea recta entre ellos, pero a cambio esto repercute en el rendimiento del simulador porque es un *script* más que ejecutar. En el escenario urbano contamos con un total de **1460 waypoints**, mientras que en el escenario interurbanop existen **838**.

El fragmento 1 sería un ejemplo del código que ejecutarían cada uno de los vehículos en el momento de llegar al *waypoint* especial PD03. En él, al comprobar que el *waypoint* actual es el número 3, se procede a generar un RNG (*Random Number Generation*) entre 0 y 1 con una distribución uniforme. Posteriormente se hace la siguiente comprobación: si el coche está situado en el carril derecho ( $Lane==2$ ) y el RNG es menor a 0.25 (En un 25% de los casos), se indica el componente script del *waypoint* del desvío (PD04). En caso contrario, se indica el del *waypoint* PD05.

En cualquiera de los dos casos se llama a la función *New\_VPD()*, encargada de actualizar el vector que une los *waypoints* y que sigue el vehículo. Para evitar recargar el script innecesariamente, en caso de que el *waypoint* en el que se encuentra no sea especial, se procede a seleccionar como siguiente *waypoint* al inmediatamente posterior en número (para casos en los que no hay otra opción que continuar hacia delante).

Para que estos vehículos se comporten de manera acorde a las normas de tráfico, el detector frontal comentado es capaz de interactuar con los distintos elementos que pueblan los escenarios de la siguiente manera:

- Al llegar a las proximidades de un semáforo se comprueba el estado de este y, si la luz está en rojo, se reduce la velocidad hasta detenerse delante. Al ponerse en verde, se cancela este comportamiento y se reanuda la marcha.
- Cuando un vehículo, ya sea del jugador o de la inteligencia artificial, es detectado en la zona *trigger* comentada anteriormente ocurre el mismo efecto, el coche se sitúa inmediatamente detrás, sin llegar a colisionar con él.
- En los pasos de peatones, *stops* y ceda el paso, se comprueba que estos estén despejados en sus inmediaciones, ya sea por otro vehículo o el propio jugador. De no ser así, se pararán en la línea de detención para ceder el paso y continuarán cuando esté libre.
- Existen zonas en las que al entrar un vehículo se le aplica un multiplicador para reducir la velocidad y facilitar la circulación, por ejemplo en una glorieta o raqueta.
- Si por el azar dos vehículos llegan a colisionar, saldrán brevemente despedidos y desaparecerán para dejar paso al tráfico restante y no organizar atascos.

Además, cuando un coche es generado se le aplica un modificador aleatorio de entre un +/-10% a la velocidad estándar para que circulen a diferentes velocidades. Esto contribuye al dinamismo del tráfico y a que se creen pequeñas caravanas de coches que el jugador deba adelantar.

En el carril izquierdo se aplica otro modificador de velocidad para que aumenten la velocidad y se den adelantamientos por parte de la inteligencia artificial, además de despejar el carril izquierdo de tráfico y que el conductor pueda adelantar.

### **6.2.5. Peatones con Inteligencia Artificial**

Para aumentar la complejidad del simulador, en el escenario urbano se cuenta con modelos articulados de peatones que deambulan por las aceras del mapa. Estos son capaces de cruzar la calle utilizando los pasos de cebra dispuestos, esperar en los semáforos a tener vía libre para cruzar e incluso en ocasiones simplemente cruzar la calle sin disponer de paso de cebra.

Existen dos infracciones relacionadas con los peatones: Ser atropellados por el conductor y no ser respetados en un paso de cebra.

### **Modo peatón:**

En este estado solamente cuentan con un componente RigidBody y un Trigger Capsule. La animación es la encargada de modificar su posición en el plano XZ para crear el efecto de estar caminando. En el momento en que un vehículo colisiona con él, cambia a modo "Ragdoll".

### **Modo Ragdoll:**

Se ha implementado mediante la utilidad de Unity, por la cual se generan Colliders en brazos, antebrazos, torso, cadera, muslos, piernas y cabeza, además de uniones entre estos con Joints para crear un maniquí afectado por la fuerza de la gravedad. Mediante un script (Frag.2), se cambia a este modo justo antes de ser alcanzado por un coche, creándose de forma realista el movimiento de una persona al impactar contra el capó y salir despedida.

El fragmento 2 es parte del script que controla el comportamiento de los peatones, lo que hace es utilizar la función *OnTriggerEnter()* para detectar cuando un objeto entra el trigger capsule, momento en el que comprueba la etiqueta de su collider asociado y si esta pertenece al coche del jugador o de la inteligencia artificial sigue estos pasos:

- Notifica una situación de atropello al script de infracciones.
- Muestra el mensaje de notificación por pantalla
- Desactiva el parámetro *kinematic* de todos los hijos. Cuando parámetro está activo las físicas no afectan a los rigidbodies.
- Desactiva la animación de caminar.
- Destruye el componente rigidbody utilizado para deslizarse por el suelo al caminar.

En cuanto al control de animación (*Animator*), cuenta con dos estados con sus respectivas animaciones: Andando y Parado. En el momento de creación del peatón se desplaza automáticamente hacia el estado Andando. La transición se lleva a cabo a través de una variable booleana, la cual mediante el código del script se activa al llegar al borde de un paso de cebra si es que el semáforo está en rojo para los peatones. Al ponerse en verde se desactiva la variable booleana y se vuelve al estado Andando para cruzar el paso. En cualquiera de los dos estados se puede dar un atropello por parte de un vehículo, entrando directamente al estado Exit (Se termina la animación) para dar paso al modo ragdoll y simular la colisión. Una vez pasados 10 segundos el peatón desaparece del suelo.

## **6.2.6. Monitorización y almacenamiento de Infracciones**

Infracciones recogidas:

- Exceso o déficit de velocidad en función del tramo en que se encuentre, el criterio que se ha seguido para determinar la infracción es el de permitir puntualmente el exceso durante 5 segundos, momento en que se notifica y se registra, si tras 10 segundos no se ha corregido volverá a contar como infracción.
- Saltarse stops, ceda el paso, semáforos o pasos de peatones.

- No indicar con intermitentes un giro, adelantamiento, incorporación o salida.
- No respetar la distancia mínima de seguridad, esta debe ser tal que no suponga menos de dos segundos alcanzar al vehículo que se tiene delante a velocidad constante.
- Conducir por fuera de la trazada.
- Conducir en dirección contraria o prohibida.
- Atropellar a un peatón.
- Colisionar con otro vehículo.
- No activar las luces con visibilidad reducida.
- Radar: Al pasar por delante con un umbral de velocidad máxima del +10% se recoge una instantánea del coche simulando el funcionamiento del radar e indicando su velocidad en ese momento.

Información que se recoge de cada infracción:

- Tipo.
- Posición, en variable tipo Vector3 (x,y,z).
- Tiempo desde el inicio de la sesión.
- Observaciones (Velocidad, distancia, tiempo... en casos de interés)

## 6.2.6. Recogida de Estadísticas durante la sesión

Estadísticas recogidas:

- Tiempo de conducción con desglose por marchas y en porcentaje.
- Distancia recorrida.
- Velocidad media con desglose por marchas.
- Consumo medio con desglose por marchas.
- Histograma con consumo en tiempo real, cada color indica una marcha distinta (Rojo 1ra, Naranja 2da, Amarillo 3ra, Verde 4ta, Azul 5ta).

Además, de forma transparente al jugador, cada intervalo de tres segundos se recoge automáticamente una muestra de los datos estadísticos de la simulación para, al final de la simulación, ofrecer la función al usuario de ser guardados en un archivo log de texto. Este archivo puede ser utilizado para subir las estadísticas a un servidor web donde por medio de cuentas de usuario se pueden elaborar gráficas y filtrar datos. Esta es la estructura del fichero de Log en un ejemplo:

## 6.3. Características secundarias y elaboración

### 6.3.1. Perspectiva del conductor e interfaz

El vehículo del jugador cuenta con una cámara posicionada en el interior de la cabina para ofrecer una vista subjetiva del conductor. Con esta visión se ha optado por eliminar el chasis superior para ofrecer una visión más amplia, sobre todo al situarse cerca un semáforo, para que este pueda verse claramente, es por ello que parece que el retrovisor frontal flota en el aire. Desde aquí se ve el salpicadero del coche y el volante, que gira a medida que nosotros giramos el nuestro.

Cuenta con 3 retrovisores: El frontal y los dos laterales, que son visibles rotando la cámara con los controles asignados. Funcionan mediante el uso de una cámara exterior por cada uno, que enfoca en la dirección contraria a la dirección del coche. A la superficie del espejo se le asigna como textura el mapeado de la cámara. Esta función era exclusiva de la versión *Professional* de Unity, hasta que se incluyó en la versión *Personal* en la versión 5. Hasta entonces la solución pasaba por incluir un marco en la interfaz con la visión de la cámara, tal y como se hizo en la versión anterior de este mismo proyecto.

En cuanto a la interfaz, se tiene el velocímetro, el cuentarrevoluciones, la indicación del sistema GPS y un minimapa que indica la posición y orientación del coche en el escenario urbano.

### 6.3.2. Minimapa de localización

Se trata de una imagen en la esquina inferior derecha que muestra al jugador su posición en todo momento. Para lograr esto se contemplaron dos opciones:

- Situar una cámara en lo alto del escenario cuya posición y rotación en el plano XZ se fueran actualizando con las del vehículo. Al estar enfocando hacia abajo podríamos colocar un marco con su visión para lograr el efecto del mapa. Además, habría que utilizar capas con filtrado por cámara para situar un icono encima del coche, que solamente fuera renderizado por esta cámara. El mayor problema es que la adición de cámaras supone una gran carga computacional y más aún en este caso en el que hay que configurar la cámara con una gran distancia de dibujado para que aparezcan las carreteras.
- Elegir otro camino que, a pesar de ser más complejo, reduce la carga computacional y es igual o más práctico. Consiste en colocar una imagen del mapa del escenario en la interfaz, previamente modificada para resaltar las carreteras, enmascarada por una imagen circular en este caso para crear el efecto del marco. El funcionamiento consiste en desplazar y rotar la imagen para que haga coincidir en todo momento el centro con la posición del vehículo.

Para ello, tras colocar la imagen con el tamaño deseado, se procede a anotar las dimensiones del terreno, después hay que efectuar dos transformaciones lineales para trasponer el eje Z al eje Y y modificar el eje X en función de la posición del coche.

Colocamos la imagen del mapa centrada en la esquina inferior izquierda, esas son las coordenadas XY correspondientes a la posición XZ (0,0). Después colocamos la imagen

esta vez en la esquina superior derecha y anotamos las coordenadas XY, que corresponden con la posición XZ (2170,2170). Ahora solo es necesario interpolar todos los valores intermedios de los dos ejes entre esos dos máximos.

Tenemos que la posición (0,0) del terreno corresponde con el desplazamiento (460,350), mientras que la posición (2170,2170) corresponde con el desplazamiento (-1850,-1570). Hacemos estas dos transformaciones lineales.

Todo esto lo aplicamos al código de la clase como se puede ver en el fragmento 4, utilizando como variables las posiciones en el eje x y z de nuestro vehículo. Posteriormente, usamos la directriz *transform.localposition* para desplazar la imagen y que nuestra posición se sitúe en el centro en todo momento.

En cuanto a la orientación que tiene que tener el mapa, no podemos incluirla en este mismo *script*, ya que necesitamos que la imagen rote cada vez utilizando el punto exacto donde está el coche como pivote, y al desplazar la imagen, este pivote cambiaría. La solución consiste en utilizar un *gameobject* vacío contenedor de la imagen anterior y aplicarle un nuevo *script*, entonces la referencia que le pasamos como pivote pasará a ser un punto fijo, en *script* modificamos la orientación acorde a la del vehículo pero trasasándola al plano XY, es decir, rotando en el eje Z, como de puede ver en el fragmento 5.

### 6.3.3. Sistema de guiado

De forma opcional, el escenario urbano cuenta con una interfaz adicional que, mediante indicaciones visuales y auditivas guía al conductor de la misma manera que lo haría un GPS convencional.

Cuando el conductor se incorpora al tráfico, se activa de forma aleatoria uno de los 15 destinos repartidos por todo el mapa. A partir de ese momento, cuando el usuario

atraviesa diferentes puntos clave del recorrido, situados principalmente en las entradas y salidas de los cruces, se calcula la ruta más corta y se indica mediante una señal en la parte superior de la pantalla el camino que ha de seguir.

Además, mediante software de voz sintética se han grabado pistas de audio que acompañan a los cambios de indicaciones, tales como “*Efectúe un cambio de sentido*” o “*Coja la segunda salida de la glorieta*” de tal manera que el conductor no necesite apartar la vista del frente y concentrarse en la conducción.

Una vez el usuario consigue llegar al punto de destino se desactiva la luz que indica su posición, se activa otro de los 14 puntos aleatorios y se recalculan las indicaciones que se dan en los puntos clave del mapa. De esta forma, al tratarse de un espacio significativamente más reducido que el escenario interurbano, al usuario se le hace más ameno ir de un lado a otro, en contraposición con el modo de conducción libre.

### 6.3.4. Condiciones meteorológicas e impacto

### **Transcurso del día:**

#### a) Escenario interurbano

En cualquier momento el usuario puede alternar entre ambiente diurno y nocturno a través del menú con las opciones. La activación del ambiente nocturno implica los siguientes cambios:

- La intensidad de la luz direccional se reduce al mínimo.
- Los vehículos de la inteligencia artificial activan automáticamente los faros.
- Las farolas diseminadas a lo largo del recorrido activan un componente de luz focal que apunta hacia la carretera para dar visión al usuario.
- Se comprueba que el usuario tenga activas las luces de sus faros. En caso contrario, pasados 10 segundos se le notificará y se añadirá la pertinente infracción al registro.

#### b) Escenario interurbano

Partiendo de la idea de que este escenario está enfocado a ser usado durante largos periodos de tiempo, se ha optado por cambiar el esquema ambiental. A una velocidad ajustable, la intensidad de la luz direccional irá aumentando y disminuyendo al mismo tiempo que el skybox varía entre un total de 15 modelos con una posición distinta del Sol. De esta forma, se consigue simular el transcurso del día, haciendo que para el usuario resulte más atractiva la conducción, especialmente a partir del atardecer, donde apenas cuenta con la visión que le ofrecen sus faros y los del resto de coches, forzándole a aumentar su nivel de concentración y favoreciendo el agotamiento mental, lo cual tiene interés de estudio en otros proyectos del Grupo de Telemática I Imagen.

### **Sol:**

Se ha querido simular de forma moderada la presencia de los reflejos que se producen en el ojo del conductor cuando se conduce de cara al Sol, Pese a no suponer un gran problema, pueden llegar a ocasionar accidentes, sobretodo atropellos de peatones debido a que las sombras de los edificios en ciudad se hacen más difíciles de ver.

### **Lluvia:**

Como efecto climatológico que más accidentes provoca, se ha integrado en cualquiera de los dos escenarios en una escala de cero a cien para obstaculizar la visión. Aunque en esta versión del simulador no impacta activamente en el manejo del automóvil, sí que requiere una mayor concentración del conductor y un aumento de la fatiga que sufre con el tiempo. En la vida real, además, genera los siguientes contratiempos:

- La distancia de frenado aumenta de un 15% a un 100%, dependiendo, entre otros factores, de la velocidad, el estado de los neumáticos o el firme de la carretera. Para evitar accidentes debido a esto, es necesario aumentar la distancia de seguridad consecuentemente.

- Los neumáticos, como punto de contacto con la carretera, cuentan con un nivel máximo de evacuación de agua medido en litros/segundo, que, siendo excedido, provoca una fina capa de agua intermedia entre el neumático y la superficie, derivando en deslizamientos conocidos comúnmente como *Aquaplaning*.

Para evitarlos se recomienda disminuir la velocidad (con lo que se reduce la cantidad de agua a evacuar), no frenar de golpe sino levantar el pie del acelerador, y no efectuar movimientos bruscos ya que las ruedas no tienen total adherencia y derrapan.

- La visibilidad se reduce notablemente por dos efectos. Los limpiaparabrisas no pueden limpiar constantemente las gotas de agua de la luna delantera, mientras que en el interior esta se empaña por la diferencia de temperatura.

Otros efectos meteorológicos que dificultan la conducción en plenas facultades son la nieve, el hielo, la niebla y el viento. Estos efectos pueden ser integrados en futuras versiones del simulador en forma de reducción de prestaciones de los pedales, aplicación de *feedback force* en el volante o disminución de la visión.

### 6.3.5. Integración del periférico G27 Logitech Racing Wheel

Para lograr una experiencia mucho más realista y enriquecedora, es recomendable utilizar un periférico de volante. Para este proyecto se ha utilizado el periférico de Logitech *G27 Racing Wheel* de 2014 que incluye volante, set de pedales y caja de cambios. Es compatible con PC y PlayStation 2 y 3 a través de puerto USB. (Logitech, 2014)

Especificaciones técnicas:

- Volante:
  - Diámetro de 270 mm.
  - Rango de rotación ajustable hasta un máximo de 900°
  - 2 motores duales de *feedback force* con engranajes helicoidales que producen menos ruido que el modelo G25 y tienen una mejor respuesta al giro del volante.
  - Set de cambio de levas.
  - 6 botones integrados en el interior.
  - Juego de luces led.
- Set de pedales que incluye:
  - Acelerador (De resistencia leve)
  - Freno (De resistencia fuerte)
  - Embrague (De resistencia media)
- Set de cambio de marchas manual con:
  - 8 botones funcionales.
  - Cruceta direccional.
  - Palanca con patrón de marchas en forma de H. La marcha atrás se selecciona presionando la palanca hacia abajo y metiendo sexta.

### Logitech SDK

Logitech cuenta con una librería de utilidades programada en C# para los productos, que es capaz de modificar las propiedades de los mismos de cara a aplicaciones de este estilo o modificaciones de juegos hechas por usuarios. Está dividida en 4 sub-librerías, de las cuales nos interesa la llamada *Logitech Steering Wheel SDK*. Esta

mantiene un control más exhaustivo del volante a la vez que interacciona con los motores de *Feedback Force* para crear efectos realistas para el conductor. (Logitech, 2015)

Antes de empezar es necesario adjuntar una librería de funciones denominada *LogitechSteeringWheelEnginesWrapper.dll*. Existen cuatro versiones diferentes dependiendo del sistema operativo y arquitectura de bits, pero Unity solamente puede leer desde una librería al mismo tiempo así que tenemos que desactivar todas las versiones menos la relativa a Windows de 64 bits. Además, para que el simulador cuente con ella en la versión compilada y ejecutable (*Standalone*), es necesario colocar la librería en la raíz de la carpeta donde está el ejecutable, en nuestro caso “*Steering Wheel Lib > x64 > LogitechSteeringWheelEnginesWrapper.dll*”.

## Modificaciones, calibración y efectos de conducción

Una de las principales ventajas que incorpora la librería es el reconocimiento del pedal de embrague y la caja de cambios (En la versión estándar no los soporta). A cambio, reasigna por completo la distribución de botones y desglosa el eje vertical (anteriormente negativo al pisar el freno y positivo al pisar el acelerador) en dos, uno para el acelerador y otro para el freno, con valor -1 en reposo y valor +1 al ser pisados a fondo.

Al experimentar estos cambios, se ha tenido que modificar el *script* de control del vehículo acorde con los nuevos valores de los ejes. Además se cuenta con una función de la librería que detecta si el volante está conectado al ordenador, lo cual nos permite integrar ambos controles mediante una transformación lineal de los valores de entrada (por teclado o por volante).

El modo de marchas manual se ha tenido que desarrollar desde cero partiendo de los nuevos botones de marchas y el nuevo pedal de embrague. De esta manera, podemos recrear el efecto de calar el coche si se suelta antes de tiempo el embrague o se conduce a una marcha demasiado baja para la revolución del motor sin ni siquiera pisar el acelerador siguiendo la tabla 7. Además hemos implementado el punto muerto cuando no hay ninguna marcha metida o se está pisando el embrague, momento en el que evidentemente no se puede calar al cortar el suministro de combustible al motor.

En cuanto a los efectos de conducción, el paquete cuenta con una demo en la cual, mediante atajos de teclado, los podemos visualizar fácilmente. (Logitech, 2015)

Cuenta con:

- ***Spring Force***: El volante tiende a desplazarse hacia un punto concreto indicado como parámetro en forma de grados. Esto sucede en la realidad: al soltar el volante este recupera su posición centrada poco a poco.
- ***Constant Force***: *El volante* tiende a desplazarse hacia una de las dos direcciones de forma constante, teniendo que ejercer más fuerza de lo normal para evitar que el volante se desplace solo hacia un lado.
- ***Damper Force***: Intenta simular el efecto de la suspensión en forma de inercia en el volante, por ejemplo, al tomar una curva muy prolongada.

- **Side Collision Force:** Se simula la fuerza que sufre el eje de transmisión al ser objetivo de un choque lateral desde izquierda o derecha, el volante acompaña con una fuerza considerable hacia ese lado.
- **Frontal Collision Force:** El volante se bloquea momentáneamente por el efecto de la brusca parada que se sufre en un choque frontal.
- **Dirty Road Effect:** Simula conducir en una superficie como barro o tierra mojada, donde los giros producen fácilmente sobreviraje (El coche gira en exceso y se queda a 180° de la posición original).
- **Bumpy Road Effect:** El volante vibra y ejerce pequeñas desviaciones como si se condujera por un terreno no uniforme de tierra o con baches.
- **Slippery Road Effect:** El volante requiere más fuerza para ser girado cuando parte de reposo, como sucede al arrancar en nieve o arena. Una vez se supera cierto umbral de inercia este se mitiga.
- **Surface Effect:** El vehículo tiende a volverse incontrolable porque el volante genera pequeños movimientos erráticos, se diferencia del *Dirty Road* en que en este a mayores se reduce al mínimo los efectos *Spring* y *Damper* para simular una superficie resbaladiza. Es útil para recrear el efecto de carreteras heladas o incluso *aquaplaning*.
- **Car Airbone:** Se pretende que el conductor experimente el efecto de la pérdida de contacto con la carretera al hacer un pequeño salto, para ello durante ese instante de tiempo el volante pierde brevemente toda resistencia, dando la sensación de estar en el aire. Al volver a tocar el suelo se recupera el estado normal bruscamente. Está más enfocado a juegos de *rally* o de carreras.
- **Soft Stop Force:** Simplemente aplica una resistencia extra a todo el recorrido del volante, haciendo que sea todavía más costoso tomar las curvas.
- **Play LEDs:** Se usa para configurar el juego de luces LED que tiene el volante en su parte frontal, haciendo que luzcan en función de nuestras necesidades.

De todos estos efectos, a fin de recrear una experiencia más realista y precisa y evitar saturar al usuario con numerosos efectos innecesarios, se ha optado por deshabilitar todos menos los siguientes:

- *Spring Force*, indicando como parámetro que el volante tienda a su posición de reposo de 0° como sucede en la realidad.
- *Damper Force* a una intensidad del 80% para conseguir que el conductor sienta la sensación de estar a los mandos de un vehículo.
- *Bumpy Road Effect* a una intensidad del 25% y solamente cuando el conductor deja la carretera y circula por tierra, además así se le alerta por si este no se diera cuenta de que pisa ligeramente la cuneta.

De todas maneras, sería interesante la implementación de un modo más realista aún en el que se implementaran todos y cada uno de los efectos disponibles en función de la velocidad y la meteorología. En cuanto a los LEDs, podrían ser usados para indicar el nivel de revolución del motor.

A todo esto tenemos que sumar la calibración llevada a cabo para lograr un compromiso entre **realismo, precisión y jugabilidad**. Es decir, a la vez que se consigue un efecto lo más parecido a la realidad, es necesario que el usuario pueda realizar de forma relativamente sencilla las maniobras necesarias. Por ejemplo, el giro del volante se ve afectado por la velocidad del coche porque un pequeño giro a altas velocidades produce

una gran desviación, y resulta muy complicado realizar adelantamientos a velocidades superiores a los 100Km/h, se puede observar la forma de la curva.

Además, contamos con un pequeño rango de giro configurable, llamado *Dead Zone*, que consiste en una zona cercana al estado de reposo del volante en el que el sistema no detecta giro alguno. De prescindir de ellos se consigue que el coche no se pueda llevar completamente recto sino que haga eses. De ser demasiado grande, se pasa de no ejercer ningún giro a ejercerlo demasiado grande en poco tiempo. Para conseguir un equilibrio que permite la jugabilidad se ha optado por configurar este valor al 0,03 (3%), y la sensibilidad general del volante al 0,1 (10%), lo cual nos permite al mismo tiempo hacer giros pronunciados a baja velocidad y mantener el suficiente control del coche a grandes velocidades, llegando incluso a volcarlo si el giro es muy brusco.

## 7. Conclusiones

Atendiendo a los resultados de las pruebas anteriores se han cumplido las expectativas que teníamos para el consumo, se ha corroborado la actitud y pericia del conductor como herramienta para realizar un menor consumo de combustible y se ha establecido una relación entre los factores que influyen en el consumo y las infracciones de tráfico en los diferentes escenarios.

En la prueba en carretera se ha hecho uso de las virtudes de la conducción eficiente para comprobar que **apenas tiene repercusión en el tiempo** de llegada a los destinos, **reduce en torno a un 33% de consumo de combustible** al evitar paradas innecesarias por el tráfico y los semáforos, **emitiendo menos gases** a la atmosfera al no tener que partir de parado y **reduce las situaciones de peligro** con el resto de vehículos.

En cuanto a las diferentes configuraciones de marchas y tracción se ha señalado la **marcha de levas** como aquella más problemática para los usuarios, quizá en parte por su escasa implementación en la realidad y falta de familiarización, además, la **tracción 4x4** es más fácil de controlar para los usuarios que la delantera o trasera.

La conducción por escenario urbano presenta un mayor consumo y un mayor índice de infracciones por su naturaleza variable, además, al requerir una menor velocidad se comprueba un mayor grado de manejabilidad del simulador. En ambos casos se ha llegado a la conclusión de que **aquellos usuarios que más abusan de las marchas cortas son los que generan un mayor consumo.**

Las infracciones más comunes en los escenarios urbano e interurbano con respectivamente el exceso de velocidad y los alcances a vehículos. Se observa una **reducción considerable del número de infracciones** en el momento de utilizar un tipo de marchas automático.

Así mismo se ha comprobado que el factor más importante para desempeñar un mejor papel en los resultados de las simulaciones es ser **usuario habitual de videojuegos** y que por el contrario son aquellos usuarios con más **kilometraje** los que tienden a infringir menos las normas de tráfico.

Aunque la implementación no es la idónea para realizar una comparación con las inclemencias meteorológicas se ha observado que **la nocturnidad** repercute negativamente en el control del vehículo y que en situaciones concretas donde el número de vehículos es muy elevado se producen **bajadas de rendimiento** en los *frames por segundo* por el renderizado de objetos, iluminación, ejecución de físicas y scripting, llegando incluso a repercutir puntual y negativamente en el control del vehículo.

Utilizando el profiler se ha llegado a la conclusión de que estos son algunos de los **factores que más influyen de forma negativa** en la bajada de rendimiento gráfico:

- Dibujado en la interfaz del histograma de consumo.
- Texturas y shaders del agua.
- Nº de vehículos en escena, llegando a un máximo jugable de alrededor de 50 en escena.
- Nº de cámaras (Al menos 4, una por espejo retrovisor y otra para el conductor)
- Nº de scripts (La mayor parte se concentra en los puntos que guían la inteligencia artificial y el control del mismo vehículo)

- Número de vértices de las mallas poligonales en escena.
- Simulación de la física: Se ha intentado minimizar este efecto utilizando el parámetro Static de los objetos inamovibles.
- Iluminado (Luz direccional y focal para farolas, luces de los coches, semáforos).

## 7.2. Líneas futuras

Para poder abarcar todos los objetivos propuestos ha sido necesario priorizar las tareas a realizar, lo que significa que tras la experiencia que ha supuesto el desarrollo de este proyecto todavía han quedado algunas características que nos hubiera gustado implementar pero que no ha sido posible, estas quedan aquí reflejadas para inspirar futuras ampliaciones del simulador.

-Sería interesante implementar diferentes modos de conducción para la Inteligencia Artificial, más o menos agresivo o conservador, o incluso algún conductor esporádico que no respete las normas de tráfico, se salte alguna señal y pueda llegar a provocar un accidente.

-Tendría interés la configuración de varios motores en el vehículo, al menos como complemento al motor de gasolina, se podría implementar el motor diésel. Las principales ventajas entre ambos son el gasto de combustible, la potencia y el peso. Se podría incluso llegar a implementar un coche eléctrico, pero esto necesitaría de una profunda documentación ya que supone grandes cambios en el comportamiento del vehículo y la información suministrada.

-En cuanto a los efectos de la lluvia, podrían ser desarrollados más a fondo. Para empezar, con lluvia intensa la distancia de frenado puede llegar a duplicarse, lo que quiere decir que es recomendable duplicar también la distancia de seguridad. La Inteligencia Artificial debería conducir a una velocidad menor en consecuencia y además se debería aumentar el número de vehículos presente ya que es un hecho que la gente prefiere salir a la calle en coche que andando. Los peatones deberían reducirse en número y correr en vez de andar. Incluso se podrían localizar charcos puntuales donde el efecto del *aquaplanning* hiciera a los coches derrapar ligeramente.

-Habría que estudiar si es viable implementar un sistema de puntuación con sentido en función de la eficiencia con la que se conduce y penalizado por las infracciones cometidas, de este modo sería más atractivo por el parecido con un videojuego tradicional y se podría incluso establecer un ranking.

-Podría modelarse un túnel en el tramo de montaña, donde la luz fuera artificial y se exigiera encender las luces en el interior.

-Implementación de una turbo rotonda.

-Para analizar mejor las infracciones lo mejor sería localizar una cámara cenital justo encima del coche que se activara solamente en el momento en el que el usuario se salte un ceda, stop o paso de cebrá y le hiciese una captura al igual que hace el radar para mostrarla al final de la ejecución. Lo ideal sería mostrar repetición de la ejecución, o al menos de las partes más relevantes del recorrido, pero de momento Unity no ofrece una solución para lograrlo de manera computacionalmente ligera.

- Se podría simular un modo de conducción en estado de embriaguez para concienciación en Seguridad Vial. En este se utilizaría el *Force Feedback* del volante

para reducir el control del mismo generando desviaciones progresivas como si el conductor se saliera del trazado erráticamente en tramos rectos y largos.

-Además sería interesante comprobar cómo afectan las distracciones a la conducción, bien haciendo a los usuarios ejercer otra tarea como escribir un mensaje de texto mientras se controla el simulador, o bien programando la cámara para que aparte la vista de la carretera durante unos instantes.

-Aumentar el número de opciones disponibles relacionadas con otros factores mencionados en el capítulo 3.2 como el uso de baca, aire acondicionado o llevar las ventanillas abiertas para que actúen de modificadores del consumo.

-En líneas generales, el escenario urbano es computacional y gráficamente costoso. Sería recomendable utilizar el *Profiler* para analizar las fuentes que más repercuten en este problema y combatirlas optimizando el *renderizado* y los scripts. Con esto se conseguiría aumentar el número de *frames* por segundo y la fluidez del simulador, además de reducir el tiempo de reacción de los controles.

## 8. Presupuesto económico.

Los materiales y software necesarios para el desarrollo de este trabajo fin de grado y su coste de venta al público asociados para realizar este Trabajo de Fin de Grado han sido:

|                                                 |                 |
|-------------------------------------------------|-----------------|
| Logitech G27 Racing Wheel: .....                | 389,00 €        |
| Unity 5 3D Personal Edition: .....              | 0.00€           |
| Plugin Realistic Car Controller (RCC) v2: ..... | 44,90 €         |
| Plugin EasyRoads 3D Pro: .....                  | 40,50 €         |
| Plugin EasyTraffic.....                         | 40.50 €         |
| Ordenador portátil HP (Cáp.1.3.): .....         | <u>750,00 €</u> |
| Total: 1264,90 €                                |                 |

Atendiendo al trabajo realizado y descontando el tiempo de aprendizaje que ha sido necesario se estima que se han aportado entre 300 y 350 horas de trabajo (7 meses a una media diaria de 2 horas aproximadamente).

Contando con que un desarrollador más experimentado podría realizar este proyecto entre 200 y 250 horas, supondría entre uno y dos meses a jornada completa. Ya que actualmente en España, el sueldo de un desarrollador oscila los 1700€ mensuales esto supondría algo más de 3000€.

**Presupuesto final.....4.275€**

## 9. Bibliografía

- Accor. (2009). *Factores que Afectan el Consumo de Combustible*.
- Attitudes. (2010). *La Ansiedad y su Influencia en los Conductores Españoles*.
- Autodesk. (s.f.). *Información General de Maya* . Obtenido de [http://www.software-shop.com/in.php?mod=ver\\_producto&prdID=173](http://www.software-shop.com/in.php?mod=ver_producto&prdID=173)
- Camós, J. (2011). *Una presión de inflado correcta ya ahorra carburante* . Obtenido de <http://www.circulaseguro.com/una-presion-de-inflado-correcta-ya-ahorra-carburante/>
- CNAE Editorial. (2015). Obtenido de <http://editorial.cnae.com/index.aspx/contenido/noticias/smartsim-el-simulador-mas-completo-para-las-autoescuelas-2>
- DGT. (2010). *El Impacto Medioambiental del Tráfico*.
- DGT. (2010-2015). *Infografía de la revista Tráfico y Seguridad Vial*.
- DGT. (2011). *Normas y Señales Reguladores de la Circulación*.
- DGT. (Diciembre de 2013). *Tráfico y Seguridad Vial*.
- DGT. (2015). *Programa de Intervención, sensibilización y Reducción vial*.
- DGT. (s.f.). *La conducción armónica de las orugas*. Obtenido de [http://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2015/0915La-conduccion-armonica-de-las-orugas.shtml#.V3F5oKKD\\_VMltimedia/infografia/2015/0915La-conduccion-armonica-de-las-orugas.sh](http://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2015/0915La-conduccion-armonica-de-las-orugas.shtml#.V3F5oKKD_VMltimedia/infografia/2015/0915La-conduccion-armonica-de-las-orugas.sh)
- DriveSim Simulation S.A. (s.f.). *Simulador de conduccion para autoescuelas DriveSim*. Obtenido de <http://drivesimsimulator.com/pt-br/caracteristicas/>
- Epic Games. (2016). *Tools and Editors | Unreal Engine*. Obtenido de <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/GettingStarted/SubEditors/>
- ESTT - OEP . (2011). *Temario General de la ESTT - Tema 62*.
- Forward Development. (2010). *City Car Driving 1.5 Description*. Obtenido de <http://citycardriving.com/products/citycardriving>
- Instituto Nacional de Estadística. (2016). *Parque de turismos y motocicletas distribuido por cilindrada y año de matriculación*. Obtenido de [https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB\\_IEST\\_CONSULTA/informePredefinidoCaptcha.faces](https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/informePredefinidoCaptcha.faces)
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía para el parque móvil del Estado. (2002). *Manual de Conducción Eficiente para Conductores del Parque Móvil del Estado*.
- Instituto Tecnológico de Castilla y León. (2014). *Realidad Virtual Burgos, Realidad Aumentada, Simuladores, Castilla y León*. Obtenido de

<http://www.itclimasd.org/Realidad-Virtual/Simuladores/simulador-para-autoescuelas.asp>

- Iván García Subero, A. R. (5 de Agosto de 2014). Dificultades de desarrollar juegos en Unity. (http://yeeply.com, Entrevistador) Obtenido de <https://www.yeeply.com/blog/ventajas-e-inconvenientes-de-desarrollar-juegos-con-unity-3d/>
- Logitech. (2014). *G27 Racing Wheel Product Features*. Obtenido de <http://gaming.logitech.com/es-roam/product/g27-racing-wheel>
- Logitech. (2015). *Logitech Gaming Steering Wheel SDK Overview and Reference*.
- Mapfre, I. (Marzo 2005). *Estudio Amaxofobia: miedo a conducir*.
- Ministerio del Interior, D. G. (2008). *El Impacto Medioambiental del Tráfico*.
- National Motorists Association. (2009). *Pros & Cons: Rear Drive, Front Drive Or All-Wheel Drive?* Obtenido de <https://www.motorists.org/blog/pros-cons-rear-wheel-drive-front-wheel-drive-or-all-wheel-drive/>
- Olona, A. L. (Marzo de 2014). Las “Turbo Rotondas” y su Repercusión en la Seguridad vial. Obtenido de [http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos/R59\\_A12.pdf](http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R59_A12.pdf)
- Pivot Studio. (2015). *Unity 5 Anuncio y nuevas Características*. Obtenido de <http://www.pivotstudio.co/blog/unity-5-anuncio-y-nuevas-caracteristicas/>
- R. Wade Allen, G. D. (2007). *The Effect of Driving Simulator Fidelity on Training Effectiveness*.
- RACE, B. (2013). *Informe RACE – Bosch sobre sistemas de seguridad y antigüedad del vehículo, y su relación con la accidentalidad vial en España*.
- Roncero, A. (2010). *Tracción Trasera o Delantera, ¿Cuál es mejor?* Obtenido de <http://www.auto10.com/reportajes/traccion-delantera-o-trasera-cual-es-mejor/937>
- Saint-Moulin, B. (2007). *TDT3D - 3D softwares comparisons table*. Obtenido de [http://www.tdt3d.be/articles\\_viewer.php?art\\_id=99](http://www.tdt3d.be/articles_viewer.php?art_id=99)
- Simumak. (s.f.). *Simulador de autoescuela | Simescar*. Obtenido de <http://simumak.com/es/simescar>
- SIRA S.C. (2009). *Factores que Afectan el Consumo de Combustible*.
- Taylor Nelson Sofres. (2014). *Balance del Sector de la Automoción*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/TNSSpain/balance-del-sector-automocin-2014>
- Torres, R. (15 de Enero de 2016). Los simuladores en la Formación de los conductores. (O. N. Brasil, Entrevistador) Obtenido de <http://simumak.com/es/entrevista-roberta-torres-simuladores-en-la-formacion-de-conductores>
- Tracción Trasera. (2016). *3D Instructor ( City Car Driving ), el simulador de autoescuela definitivo- Simuladores conducción*. Obtenido de

<http://www.tracciontrasera.es/19-juegos-simvarios/80-3d-instructor-city-car-driving-el-simulador-de-autoescuela-definitivo>

ValvE. (2008). *SOURCE Information Sheet*. Obtenido de [http://www.valvesoftware.com/SOURCE\\_InfoSheet.pdf](http://www.valvesoftware.com/SOURCE_InfoSheet.pdf)

## 10. Anexo: Plugins

### I. Easy Roads 3D Pro 2.0

URL: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/content/469>

Se trata de un paquete Asset creado por Andasoft destinado a la creación de carreteras en general. Su precio actual es de 45\$ aunque dispone de una versión gratuita con características limitadas.

Su funcionamiento básico consiste en la inserción de puntos para crear una línea con la forma deseada, la cual se toma como referencia para crear una lámina que sigue el contorno del terreno y a la que se le aplica la textura de carretera deseada.

Para el proyecto se ha utilizado la **versión 2.0**, pero a día de hoy la versión 3.0 se encuentra en fase *beta* y permite muchas más características avanzadas como:

- Edición de la carretera una vez finalizada.
- Conexión entre carreteras finalizadas.
- Inserción de *gameobjects* personalizados siguiendo el contorno de la carretera y a una distancia programable, lo cual abre un amplio abanico de posibilidades para interacción con los vehículos.
- Soporte para glorietas totalmente personalizables y otro tipo de cruces.
- Generación de *gameobjects* siguiendo contornos.
- Soporte para puentes y autopistas a distinto nivel (En desarrollo).

Si bien su interfaz no es del todo intuitiva por las limitaciones de Unity y su manejo tiene una curva de aprendizaje bastante costosa, con un poco de experiencia y práctica se pueden llegar a construir escenarios realistas como estos:





## II. Easy Traffic

URL: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/content/4777>

Este paquete desarrollado por Guanabara Games con un precio de 45\$ sigue la misma filosofía que el anterior, pero en este caso se generan nodos en los que se permite la aparición de vehículos previamente configurados para que sigan las líneas como se ha explicado a lo largo de esta memoria. Ha sido necesario realizar bastantes modificaciones en el código fuente de este paquete, tanto en el flujo de tráfico como en la implementación de los vehículos para que cumpla con nuestros objetivos.

Se ha usado la última versión 1.12.0 de Mayo de 2015 y desde entonces esta ha sido la última disponible.

### III. Realistic Car Controller v2.0

URL: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/content/16296>

Se trata de una implementación de BoneCracker Games con un precio de 50\$ que sienta las bases de una serie de vehículos personalizables. Se ha hecho necesario modificar gran parte del *prefab* porque en el momento de su uso, la versión carecía de algunas características como los intermitentes o el giro de cámara subjetiva, que además partía desde el capó en vez del interior. Además se ha rediseñado el interior, se ha implementado todo el sistema de conducción manual y el cálculo de combustible en todo momento.

Se ha utilizado la versión 2.0 pero actualmente ya se ha lanzado la versión 3.0 con las siguientes novedades:

- Deformaciones de la malla con las colisiones.
- Física de la cámara subjetiva, aunque sigue siendo desde el capó.
- Añadido sonido de motor arrancado en reposo.
- Respuesta diferente en función de otro tipo de superficies.
- Soporte para manejo multijugador en red.
- Se ha orientado algo más a la conducción arcade, realizando mejoras en los derrapes y añadiendo un modo *boost*.