



GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

Curso Académico 2019/2020

Trabajo Fin de Grado

Mejoras en entorno de robótica educativa para niños

Autor : Rubén Álvarez Martín

Tutor : Dr. José María Cañas Plaza

Resumen

Este proyecto relacionado con tecnologías web y robótica está enfocado a la mejora de la plataforma *WebSim* en la cual se dispone de un simulador robótico que tiene todo su peso computacional en el navegador.

Esta plataforma está enfocada a enseñar robótica y programación a estudiantes desde muy corta edad hasta estudiantes de secundaria, empleando el lenguaje *Scratch* en cortas edades y *Python* en más avanzadas. Con ella, además de emular virtualmente el código programado, se puede enviar el mismo a un robot físico haciendo la traducción a *Python*.

Se han añadido soporte a nuevos robots tales como drones o mBot, nuevos ejercicios a partir de la funcionalidad existente y ejercicios competitivos para poder programar dos inteligencias en el mismo escenario. Estos ejercicios incorporan evaluadores automáticos para poder evaluar el comportamiento de los *robots* simulados. Además se ha desarrollado una página web para poder teleoperar los robots sin necesidad de programarlos y poder comprobar sus sensores y actuadores.

Para la mejora de este simulador se han empleado herramientas como *A-Frame*, *HTML5*, *JavaScript*, *Blender* o *Blockly*. Para la gestión de dependencias del proyecto se utiliza NPM y para el empaquetado de la aplicación, WebPack.

Índice general

Lista de figuras	7
Lista de tablas	9
1. Introducción	1
1.1. Tecnologías web	1
1.1.1. HTTP	1
1.1.2. Tecnologías en cliente	3
1.1.3. Tecnologías en servidor	3
1.2. Robótica	4
1.2.1. Historia	4
1.2.2. Tipos de robots	7
1.3. Robótica educativa	8
2. Objetivos y metodología	13
2.1. Objetivos	13
2.2. Metodología	14
2.3. GitHub	14
3. Herramientas	17
3.1. JavaScript	17
3.2. A-Frame	18
3.2.1. HTML y primitivas	19
3.2.2. Entidad, Componente y Sistema	20
3.3. Blockly	21

3.3.1. Traductor de código	22
3.3.2. Bloques personalizados	22
3.4. Gestores de paquetes	25
3.4.1. NPM	25
3.4.2. Webpack	25
3.5. Blender	25
3.5.1. COLLADA	27
3.5.2. glTF	27
3.6. Simulador WebSim	28
3.6.1. Diseño	29
3.6.2. Clase Robot	30
3.6.3. Drivers de sensores	31
3.6.4. Drivers de actuadores	33
4. Mejoras a WebSim	35
4.1. Drone	35
4.1.1. Drivers	35
4.1.2. Bloques Scratch	37
4.1.3. Modelo 3D	39
4.2. Escenarios y ejercicios	41
4.2.1. Sigue-líneas visión	41
4.2.2. Sigue-líneas infrarrojos	41
4.2.3. Choca-gira	42
4.2.4. Sigue-pelota con piBot	43
4.2.5. Atraviesa-bosque	43
4.2.6. Sigue-pelota con drone	45
4.2.7. Cuadrado con drone	45
4.2.8. Escenarios competitivos	46
4.3. Teleoperadores	48
4.3.1. Ficheros de configuración	48
4.3.2. Teleoperadores	50

ÍNDICE GENERAL	7
4.4. Ejercicios competitivos	53
4.4.1. Atraviesa-bosque competitivo	55
4.4.2. Sigue-líneas competitivo	55
4.4.3. Gato-ratón	56
5. Conclusiones	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Mejoras futuras	60
Bibliografía	61

Índice de figuras

1.1.	Comunicación cliente-servidor en HTTP	2
1.2.	Unimate, primer robot industrial	5
1.3.	Shakey, primer robot autónomo	6
1.4.	Asimo, primer robot humanoide	6
1.5.	Autorretrato del Curiosity en Marte	7
1.6.	Interfaz gráfica de Scratch	10
1.8.	Interfaz gráfica de Kodu	11
1.9.	Interfaz gráfica de Snap!	12
2.1.	Representación gráfica de las ramas del proyecto	15
3.1.	Escenario a-frame	20
3.2.	Bloque personalizado	24
3.3.	Herramienta para creación de bloques personalizados	24
3.4.	Interfaz gráfica de <i>Blender</i>	26
3.5.	Modelo glTF añadido en un escenario de A-Frame	28
3.6.	Interfaz gráfica de <i>WebSim</i>	30
4.1.	Bloque de velocidad de ascenso	37
4.2.	Bloque de velocidad de descenso	38
4.3.	Bloque de aterrizaje	38
4.4.	Bloque de despegue	38
4.5.	Espacio de trabajo de <i>Scratch</i> con los bloques del drone incorporados	39
4.6.	Drone en Blender	40
4.7.	Escenario de <i>WebSim</i> con drone integrado	40

4.8. Escenario para el ejercicio <i>piBot sigue-líneas con cámara</i>	41
4.9. Escenario para el ejercicio <i>piBot sigue-líneas infrarrojo</i>	42
4.10. Escenario para el ejercicio <i>choca-gira</i>	43
4.11. Secuencia de la animación de una pelota para el ejercicio <i>piBot sigue-pelota</i>	44
4.12. Escenario para el ejercicio <i>atraviesa bosque</i>	44
4.13. Secuencia de la animación de una pelota para el ejercicio <i>drone sigue-pelota</i>	45
4.14. Escenario de WebSim para el ejercicio <i>drone cuadrado</i>	46
4.15. Prototipo ejercicio competitivo	46
4.16. Ejercicio <i>atraviesa-bosque competitivo</i>	47
4.17. Ejercicio <i>sigue-líneas competitivo</i>	47
4.18. Prueba de puente creado en <i>Blender</i>	48
4.19. Teleoperador para el modelo del fórmula 1	50
4.20. Teleoperador para el modelo del <i>piBot</i>	51
4.21. Teleoperador para el modelo del <i>mBot</i>	51
4.22. Teleoperador para el modelo del <i>drone</i>	52
4.23. Interfaz que permite acceder a cada uno de los teleoperadores	52
4.24. Editor de <i>JavaScript</i> para ejercicios competitivos	53
4.25. Editor de <i>Scratch</i> para ejercicios competitivos	54
4.26. Evaluador para el ejercicio <i>atraviesa-bosque</i>	55
4.27. Evaluador <i>sigue-líneas</i>	56
4.28. Nuevo modelo de <i>drone</i> para ejercicio <i>gato-ratón</i>	57
4.29. Evaluador para ejercicio <i>gato-ratón</i>	57

Índice de cuadros

3.1. Métodos (HAL API) de los sensores del robot.	33
3.2. Métodos (HAL API) de los actuadores del robot.	34
4.1. Métodos (HAL API) de los actuadores implementados para el drone.	36
4.2. Pruebas de valores de gravedad e iteraciones	37

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se introducen los conceptos básicos en los que se apoya este proyecto. Se explican y se ponen en contexto las tecnologías web y el estado actual de la robótica y su expansión hasta llegar al punto en el que se encuentra, haciendo especial mención a la robótica educativa en la que se centra el proyecto.

1.1. Tecnologías web

Las tecnologías web han ido evolucionando a lo largo de la historia, pero todas se basan en un modelo cliente-servidor. Para lograr la comunicación entre cliente y servidor, se necesita un navegador por parte del cliente y un servidor web capaz de atender las solicitudes. El protocolo utilizado para esta comunicación se llama *HTTP*.

1.1.1. HTTP

HTTP (HiperText Transfer Protocol) es el protocolo de nivel de aplicación utilizado para transferir recursos hipermedia entre ordenadores y sigue el esquema petición-respuesta entre cliente y servidor (Figura 1.1). En esta comunicación el cliente abre una conexión *TCP* con el servidor y envía un mensaje de petición *HTTP* y, por parte del servidor, responde al cliente con un mensaje *HTTP* y cierra la conexión *TCP*. El protocolo *HTTP* no mantiene estado. Es decir, el servidor trata cada petición de manera aislada y no almacena información sobre peticiones realizadas por un mismo cliente. Las peticiones están definidas por el protocolo y tienen métodos

concretos:

- GET: Sigue una petición de un recurso al servidor especificando su *URL*.
- HEAD: Método similar a GET con la diferencia de que únicamente solicita las cabeceras y no descarga el recurso completo.
- POST: Envía datos al servidor, normalmente un recurso específico que provoca un cambio de estado.
- PUT: Actualiza información sobre un recurso del servidor.
- DELETE: Elimina en el servidor un recurso.

Aunque estos son los principales métodos, el protocolo tiene flexibilidad para ir añadiendo nuevos e incorporar funcionalidad. El número de métodos ha ido aumentando con las nuevas versiones.

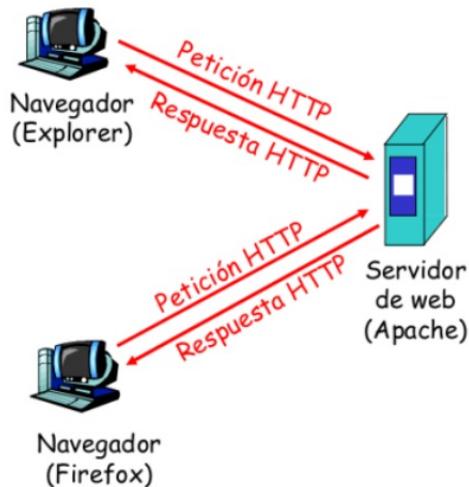


Figura 1.1: Comunicación cliente-servidor en HTTP

Aunque la versión actual del protocolo data del 2 de abril de 2019 (*HTTP/2.4.38*), es en 1991 cuando se lanza la primera versión y, en el mismo año, se publica un estándar para la publicación de páginas web mediante un lenguaje de marcas de hipertexto (*HTML*), que se explicará en el siguiente apartado.

1.1.2. Tecnologías en cliente

Es la parte encargada de dar forma a la interfaz de usuario y de establecer la comunicación con el servidor. Una pieza importante del cliente es el navegador, ya que es el encargado de leer e interpretar la información recibida. Las más utilizadas son:

- *HTML*: es el estándar más utilizado para el desarrollo de páginas web. Actualmente los navegadores usan la versión *HTML5*. Este lenguaje indica la estructura de una página web, para editar el estilo y presentación visual hay que hacer uso de otros elementos como *CSS*.
- *CSS*: *Cascading Style Sheets* es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento escrito en un lenguaje de marcado. De esta forma, se puede separar información y datos (en los documentos *HTML*) y todo lo relativo al diseño y presentación (en documentos *CSS*). Actualmente los navegadores usan la versión *CSS3*.
- *JavaScript*: para programar la lógica, dinamismo e interacción con el usuario es el lenguaje más común y extendido en el desarrollo de páginas. Debido a su importancia en el proyecto, se explicará más a fondo en próximos capítulos.

1.1.3. Tecnologías en servidor

Son las encargadas de dar forma al servidor web de manera que permiten el acceso a herramientas como base de datos, conexiones de red o recursos compartidos. O, dicho de otra forma, se ocupan de realizar las tareas necesarias para hacer posible crear una aplicación que visualizará el cliente. Las más utilizadas son:

- *Node.js*: es una forma de ejecutar *JavaScript* en el servidor. Proporciona un entorno de ejecución del lado del servidor que compila y ejecuta a gran velocidad. Esto es debido a que compila en código máquina nativo en lugar de interpretarlo o ejecutarlo.
- *Django*: entorno web de alto nivel programado en *python* diseñado para realizar aplicaciones de cualquier complejidad. Es seguro, rápido y escalable. Además, incluye una interfaz para acceder a bases de datos lo que facilita las consultas al no tener que manejar *SQL* y realizarlas con filtros de *Python*.

- *Spring*: herramienta cuya finalidad es simplificar el desarrollo de aplicaciones ya que facilita la configuración de la aplicación y el despliegue en servidor. De esta manera, *Spring* está pensado para aplicaciones web, servicios *REST*, análisis de datos e integración de sistemas.

1.2. Robótica

La robótica es una rama tecnológica encargada del diseño y construcción de aparatos que realizan operaciones y trabajos en sustitución de la mano de obra humana.

Un robot es un sistema autónomo programable capaz de realizar tareas de ayuda al ser humano y con aplicaciones en campos diversos como la medicina, el hogar, las fábricas, etc.

Los robots se componen de sensores, controladores y actuadores.

- **Sensores**: son los encargados de recoger información del entorno. En este grupo se encuentran láseres, cámaras, ultrasonidos u odómetros. Estos dispositivos equivalen a los sentidos humanos.
- **Controladores**: analizan los datos recogidos por los sensores y elaboran una respuesta que va a ser enviada a los actuadores. En los seres humanos equivale al cerebro.
- **Actuadores**: se encargan de transformar energía eléctrica, hidráulica o neumática en mecánica. Son los que interactúan con el entorno y equivalen a los músculos humanos.

1.2.1. Historia

La palabra robot fue empleada por primera vez en 1920 por Karel Capek, un escritor checo que realiza una obra de teatro en la que un hombre fabrica un robot.

Años más tarde, en 1950, Isaac Asimov publica un libro llamado *Yo, Robot* en el que acuña la palabra robótica”definiendo a la ciencia que estudia a los robots. En el también se incluyen tres leyes de la robótica:

- Un robot no hará daño a un ser humano ni permitirá que un ser humano sufra ningún tipo daño.

- Un robot debe cumplir las órdenes recibidas por un ser humano, salvo las que entren en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia mientras que no entre en conflicto con ninguna de las leyes anteriores.

Es a finales de la década de los 50 cuando la robótica sufre el mayor impulso al crearse el primer robot comercial en 1956 y, años más tarde, en 1961, se instala el primer robot industrial (Figura 1.2).



Figura 1.2: Unimate, primer robot industrial

En los años 70 se crea el primer robot autónomo, *Shakey* (Figura 1.3). Fue el primero que incorporaba inteligencia artificial y disponía de control de motores y sensores. *Shakey* era capaz de recoger toda la información de su entorno, crear un mapa y diseñar el camino más corto desde su ubicación al destino.



Figura 1.3: Shakey, primer robot autónomo

En 2000 la compañía Honda lanza el robot *Asimo* (Figura 1.4), un robot humanoide capaz de detectar múltiples objetos, reconocer caras e interpretar comandos de voz o gestos. *Asimo* fue creado con el objetivo de, algún día, ofrecer asistencia a personas con necesidades especiales.



Figura 1.4: Asimo, primer robot humanoide

Es en 2011 cuando la robótica alcanza uno de sus mayores hitos gracias al robot explorador *Curiosity* (Figura 1.5). Este robot llegó a Marte en 2012 y su cometido fue investigar el planeta

para determinar si existió vida en Marte, caracterizar su clima y geología y preparar el entorno para su exploración humana.



Figura 1.5: Autorretrato del Curiosity en Marte

Hoy en día no solo se ven robots en entornos industriales, si no que aparecen cada vez más en entornos domésticos, educativos o automovilísticos.

1.2.2. Tipos de robots

Los ámbitos en los que se puede encontrar la robótica son diversos, así como los diferentes tipos de robots:

- **Industriales:** son los utilizados para mover materiales pesados, herramientas y realizar una serie de tareas en ambientes de producción y manufactura. Este tipo de robots permiten realizar trabajos peligrosos y repetitivos sin cometer errores, por lo que están revolucionando la industria y cada vez es más común verlos en las fábricas.
- **Militares:** robots autónomos o controlados de manera remota diseñados para transporte, búsqueda, rescate o ataque. Destacan los drones usados para espionaje o recolección de datos e imágenes. Existen muchas funciones que son realizadas por este tipo de robots, es común la supervisión humana para controlar que el criterio del robot sea correcto frente posibles amenazas.

- **Espaciales:** son aquellos que se utilizan en exploraciones de terrenos y ambientes de otros planetas o como apoyo al trabajo de los astronautas.
- **Medicina:** sus aplicaciones abarcan varios ámbitos sanitarios y proporciona grandes ventajas al sector; desde sistemas de desinfección eficientes (como el robot *Xenex*¹), herramienta para desinfectar instalaciones médicas) hasta robots que pueden reemplazar o ayudar a cirujanos por su precisión y eficiencia (robot *Da Vinci*², que permite tener un campo de visión magnificado e instrumental médico mejorado).
- **Robots de servicio:** mejoran la productividad en casi cualquier tarea posibilitando la automatización de cualquier tipo de labor que requiera eficiencia y rapidez, siendo capaces de operar de forma autónoma. Abarcan un amplio campo, desde aspiradores robóticos (como el robot *Roomba*³) hasta sistemas domóticos (como el altavoz desarrollado por *Google*, *Google Home*⁴).
- **Entretenimiento:** son algunos de los robots más sofisticados ya que requieren interactuar con personas. Se pueden encontrar desde juguetes hasta robots que ayuden a la enseñanza. En este último tipo se entrará más en detalle por ser un pilar fundamental del proyecto.

1.3. Robótica educativa

La robótica con fines educativos está empezando a adquirir importancia en la enseñanza porque su aprendizaje está disponible para estudiantes de cualquier nivel. Este método de enseñanza intenta despertar el interés de los alumnos porque, gracias a la innovación que posibilita la tecnología, añade un componente atractivo e integrador a las asignaturas tradicionales.

La enseñanza en centros escolares se realiza en gran parte mediante plataformas como la creada por LEGO o placas Arduino que simplifican el aprendizaje y resulta motivadora para el alumno porque obtiene resultados vistosos y se le puede dar una aplicación real.

¹<https://www.xenex.com>

²<https://www.intuitive.com>

³<https://www.irobot.es>

⁴https://store.google.com/es/product/google_home

Resulta importante acercar la robótica a alumnos en edades muy tempranas, partiendo de nociones básicas, dada la importancia que está adquiriendo la disciplina y la fuerte presencia que tiene en la mayor parte de los sectores laborales. Además, la capacidad de programar es una parte importante en la sociedad actual ya que, con esta habilidad, se aprenden estrategias para resolver problemas, diseñar proyectos y comunicar ideas.

Las nociones básicas de las que se sirve este acercamiento son los lenguajes de programación visual. Se trata de lenguajes potentes y muy intuitivos que abstraen al alumno de la complejidad que implica la sintaxis y aportan un entorno visual haciendo que el software sea bien aceptado por estudiantes de corta edad. Además permiten a los usuarios programar manipulando elementos gráficos en lugar de hacerlo textualmente. Los lenguajes de programación visual más importantes son:

- *Scratch*⁵: proyecto liderado por el *MIT*, es utilizado por estudiantes y docentes para programar animaciones, juegos e interacciones fácilmente gracias a su interfaz visual. Se trata de un lenguaje donde los programas se construyen ensamblando bloques gráficos y cada bloque es el equivalente a una función o método de cualquier lenguaje de programación. Actualmente está en su versión *Scratch 3.0* y en la figura 1.6 se puede ver un ejemplo de su interfaz gráfica.

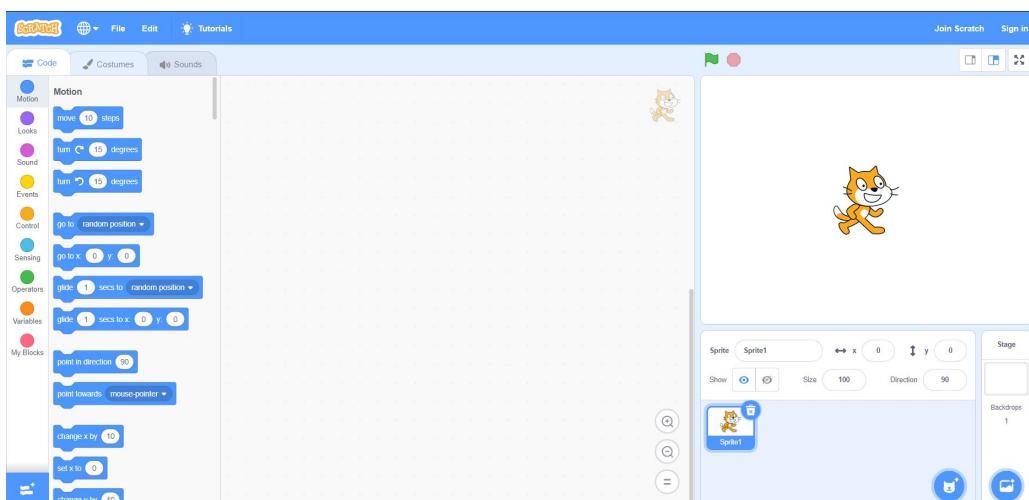
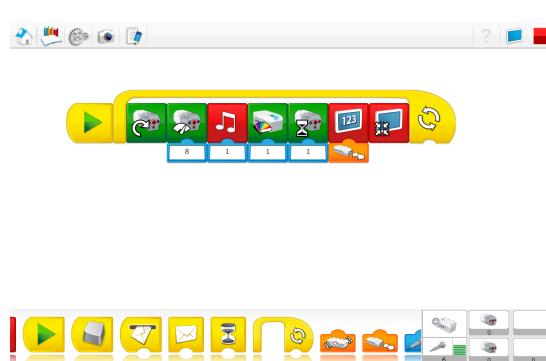


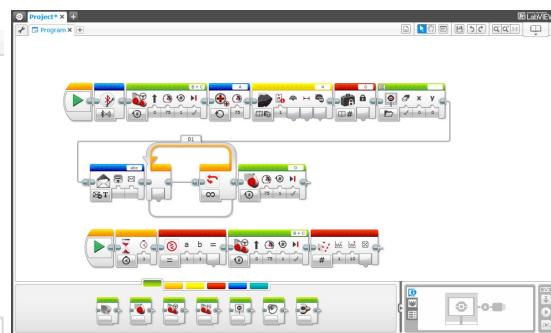
Figura 1.6: Interfaz gráfica de Scratch

⁵<https://scratch.mit.edu/>

- *Blockly*: proyecto de *Google* diseñado para el lenguaje de programación *JavaScript* pensado para crear lenguajes de programación visual. Se ejecuta en un navegador web y visualmente recuerda a *Scratch*. Se desarrolla en profundidad en capítulos siguientes dada su importancia para este proyecto.
- *LEGO*: dispone de una amplia gama de robots programables y cada uno de ellos tiene un sistema de programación bajo interfaz gráfica. En las figuras 1.7a y 1.7b se pueden ver dos ejemplos de distintos software para distintos robots.



(a) Interfaz gráfica de LEGO WeDo 2.0



(b) Interfaz gráfica de LEGO MINDSTORMS EV3

- *Kodu*⁶: lenguaje de programación visual creado por Microsoft para desarrollar videojuegos. Diseñado para ser muy accesible y agradable para cualquier usuario siendo un lenguaje basado en reglas, condiciones y acciones prescindiendo de muchas convecciones de programación como bucles, subrutinas o variables simbólicas. Permite a los más jóvenes a ser creadores de sus propios videojuegos.

⁶<https://www.kodugamelab.com>



Figura 1.8: Interfaz gráfica de Kodu

- *Snap!*⁷: basado en *Scratch*, sigue su facilidad para aprender a programar pero su uso se concentra en edades algo más avanzadas. Accesible desde cualquier navegador al estar programado en *JavaScript*.

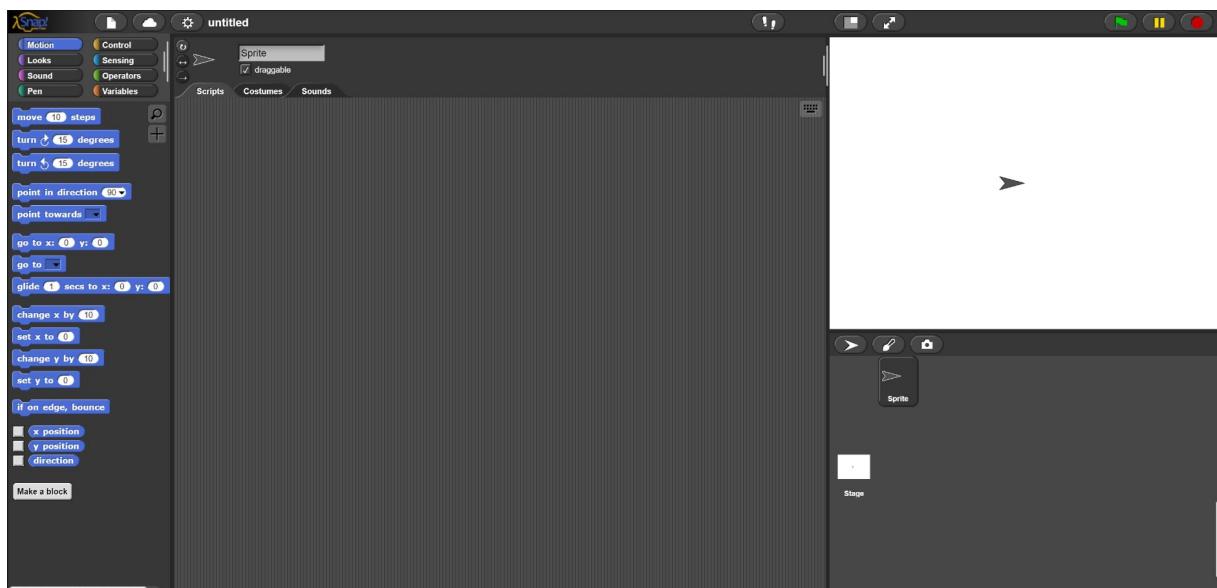


Figura 1.9: Interfaz gráfica de Snap!

⁷<https://snap.berkeley.edu>

Capítulo 2

Objetivos y metodología

Una vez expuestas las motivaciones y contexto del proyecto, en este capítulo se detallarán objetivos y metodología empleada.

2.1. Objetivos

El propósito de este proyecto es la extensión y mejora de una herramienta docente para facilitar el aprendizaje de algoritmos y robótica. Para cumplir ese propósito se han fijado varios objetivos:

- Añadir soporte para *drone* en la plataforma, incluyendo tanto el software necesario como el modelo 3D para el entorno de *A-Frame*.
- Incluir más ejercicios a *WebSim*. Siendo necesario elaborar archivos de configuración para poder cambiar entre los distintos ejercicios y robots soportados. Esto incluye añadir más modelos de robots y nuevos escenarios a la plataforma.
- Añadir teleoperadores para que los robots se puedan controlar sin necesidad de programar. De esta manera se facilita la labor de los desarrolladores al poder probar el entorno y los sensores del robot de manera sencilla.
- Incluir ejercicios competitivos de tal manera que dos usuarios puedan programar sobre el mismo escenario. Este objetivo también incluye crear un evaluador para puntuar el comportamiento de cada robot.

2.2. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se han hecho reuniones semanales con el tutor del TFG en las que se elaboraba un plan de trabajo para la semana y se revisaban las tareas concluidas. Cuando era necesario tener un desarrollo terminado, se ampliaba la frecuencia de las reuniones. Este tipo de trabajo se asemeja mucho a la metodología *agile*.

Esta forma de trabajar consiste en estructurar el proyecto en pequeñas partes que se tienen que completar y entregar en pocas semanas. Estos plazos se llaman *sprints* y en ellos el desarrollador se encarga de programar una parte específica del proyecto.

2.3. GitHub

Como en la mayor parte de proyectos en la que se desarrolla *software*, se ha utilizado *GitHub*; un sistema de control de versiones que permite llevar un registro de los cambios efectuados del código del proyecto y administrarlo. Facilita trabajar en colaboración con otras personas, planificar proyectos y realizar un seguimiento el trabajo.

Los archivos de cada proyecto se almacenan en repositorios, que pueden estar en local o ubicado en el almacenamiento de *GitHub*. Para el desarrollo de este proyecto se han utilizado dos repositorios: en el que se desarrolla el software principal del proyecto¹ y otro para llevar el registro de las tareas realizadas².

En el primer repositorio, la metodología de trabajo durante el proyecto ha consistido en crear incidencias (*issues*) de alguna tarea en específico (con el fin de solucionar problemas o añadir funcionalidad) y para cerrarla se creaba una rama (*branch*) realizando después un *pull request* a modo parche para fusionarlo con la rama principal y así arreglar la incidencia. Se sigue esta metodología para registrar de forma limpia los cambios realizados por los diferentes desarrolladores que trabajan sobre el repositorio y, en caso de ser una modificación importante, solicitar la supervisión de otro desarrollador para integrarla. En la figura 2.1 se puede observar

¹<https://github.com/jderobot-hub/kibotics-websim>

²<https://github.com/RoboticsLabURJC/2019-tfg-ruben-alvarez>

gráficamente una cronología de las ramas del repositorio durante medio mes de trabajo.

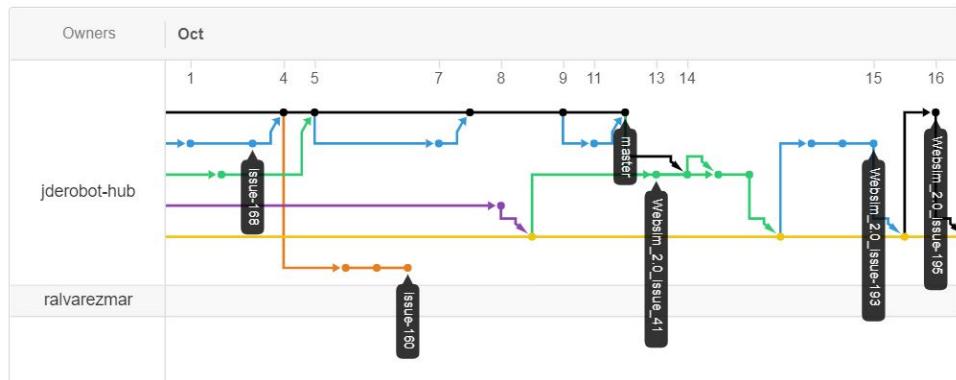


Figura 2.1: Representación gráfica de las ramas del proyecto

En el segundo repositorio se realizó una copia del repositorio (*fork*) para trabajar directamente sobre la cuenta personal de *GitHub*³. De esta manera, en primera instancia se suben los cambios al repositorio personal y, cuando hay progresos importantes, se suben todos los cambios al repositorio original. Para automatizar esta tarea se ha realizado un *script* de *shell* en el que el primer argumento es el mensaje del *commit* y, si se escribe '*-t*' después de este, se realiza la subida al repositorio copiado y al original.

```

1 #!/bin/sh
2 if [ $# -gt 2 ]
3 then
4   echo "usage: $1" 1>&2
5   exit 1
6 fi
7 git add .
8 git commit -m "$1"
9 git push
10 if [ "$2" = "-t" ]
11 then
12   git push upstream
13 fi

```

Listing 2.1: Script para subir código a GitHub

³<https://github.com/ralvarezmar/2019-tfg-ruben-alvarez>

Capítulo 3

Herramientas

En este capítulo se van a detallar las herramientas y tecnologías utilizadas en el desarrollo de este proyecto principalmente en el ámbito web. Algunas se han elegido por facilidad de uso y otras por necesidad del entorno desarrollado.

3.1. JavaScript

JavaScript es un lenguaje interpretado de alto nivel que se encuentra bajo el estándar *ECMAScript*¹ y está basado en otros lenguajes de programación como Java o C.

En su principio fue concebido como lenguaje de aplicaciones web para el lado cliente, interpretado en un navegador web, permitiendo mejorar la interfaz de usuario y realizar páginas web dinámicas.

En la actualidad, *JavaScript* se ha ido extendiendo hacia el lado servidor con *Node.js* y es por ello que es el lenguaje más utilizado para desarrollo web y todos los navegadores interpretan el código integrado en las páginas web.

Para este proyecto se ha usado *ECMAScript 6* o *ECMAScript 2015* y, como el proyecto se orienta a la creación de una aplicación con todo el peso en el lado del cliente, *JavaScript* es el lenguaje que mejor se adapta a los requerimientos del desarrollo. De esta manera, se ha programado toda la inteligencia de la aplicación web, que corre en el navegador.

Las siguientes características son las principales de *ECMAScript*:

¹Especificación de lenguaje de programación el cual define tipos dinámicos y soporta características de programación orientada a objetos.

- Es un lenguaje estructurado, tiene gran similitud con *C* y comparte gran parte de su estructura (bucles, condicionales, sentencias...) a excepción del alcance de sus variables. En *C* su ámbito es el bloque en el que fue definida y, en su origen, *JavaScript* tenía un alcance global en las variables definidas. Es en ECMAScript 2015 cuando se añade la palabra clave *let*, que incorpora compatibilidad con *block scoping* (alcance de la variable en el bloque en la que es definida).
- Tipado débil, por el cual el tipo de datos está asociado al valor, no a la variable. Esto significa que una variable puede ser *number* o *string* en distintos momentos de ejecución.
- Formado en su totalidad por objetos, en los cuales los nombres de sus propiedades son claves de tipo cadena siendo *objeto.a = 1* y *objeto['a'] = 1* equivalentes.
- Lenguaje interpretado, es por esto que no requiere un compilador ni crear un fichero binario del código; cada navegador tiene su intérprete que se encarga de ejecutarlo.
- Evaluación en tiempo de ejecución gracias a la función *eval*, la cual evalúa un código en *JavaScript* representado como una cadena de caracteres.

3.2. A-Frame

A-Frame es un entorno de código abierto destinado a crear experiencias de realidad virtual a partir de *HTML* de forma que sea sencillo de leer y comprender. De esta manera es accesible para crear una gran comunidad. *A-Frame* está en constante desarrollo, pero la versión utilizada en este proyecto es la última versión estable (*v0.9.2*) y se ha utilizado este framework por la facilidad de crear escenarios tridimensionales a través de un documento *HTML* y de añadir modelos sofisticados en distintos formatos.

Además tiene compatibilidad con *Vive*, *Rift*, *Windows Mixed Reality*, *Daydream*, *GearVR* y *CardBoard* así como soporte para todos los controladores respectivos. También ofrece soporte para ordenadores de escritorio y para la mayoría de teléfonos inteligentes.

3.2.1. HTML y primitivas

A-Frame se basa en *HTML* y el *DOM* usando un *polyfill*² para elementos personalizados. *HTML* es un componente básico para Web y como tal, tiene una gran accesibilidad como lenguaje. Para crear una escena de realidad virtual con *A-Frame* no se requiere ninguna instalación y simplemente con la creación del *HTML* se puede abrir en el navegador. La mayoría de herramientas existentes (como *React*, *Vue.js*, *d3.js* y *jQuery*) funcionan en este entorno.

HTML y *DOM* son solo la capa más externa del framework, debajo se encuentra el componente *three.js* en el que está basado *A-Frame* gracias al cual un componente puede ser utilizado en distintas entidades. De esta manera hace posible seguir el principio de programación *Don't Repeat Yourself* ya que, una vez registrada una primitiva, se puede hacer referencia al elemento todas las veces que sea necesario.

A-Frame proporciona elementos como *a-box* o *a-sky* llamados primitivas. Podemos crear un escenario a través de estas primitivas como el mostrado en la figura 3.1 con el siguiente código:

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3   <head>
4     <meta charset="utf-8">
5     <title>Escenario primitivas</title>
6     <script src="https://aframe.io/releases/0.9.2/aframe.min.js"></script>
7   </head>
8   <body>
9     <a-scene background="color: #FAFAFA">
10       <a-box position="-1 0.5 -3" rotation="0 45 0" color="#4CC3D9" shadow>
11         </a-box>
12       <a-sphere position="0 1.25 -5" radius="1.25" color="#ff0000" shadow>
13         </a-sphere>
14       <a-cylinder position="1 0.75 -3" radius="0.5" height="1.5" color="#
15         FFC65D" shadow></a-cylinder>
16       <a-plane position="0 0 -4" rotation="-90 0 0" width="4" height="4"
17         color=" #1cde83" shadow></a-plane>
18       <a-sky color="#e7e1e0"></a-sky>
19     </a-scene>
```

²Fragmento de código en *JavaScript* utilizado para proporcionar una funcionalidad moderna en navegadores antiguos.

```
16  </body>  
17 </html>
```

Listing 3.1: Código con primitivas que representa un escenario

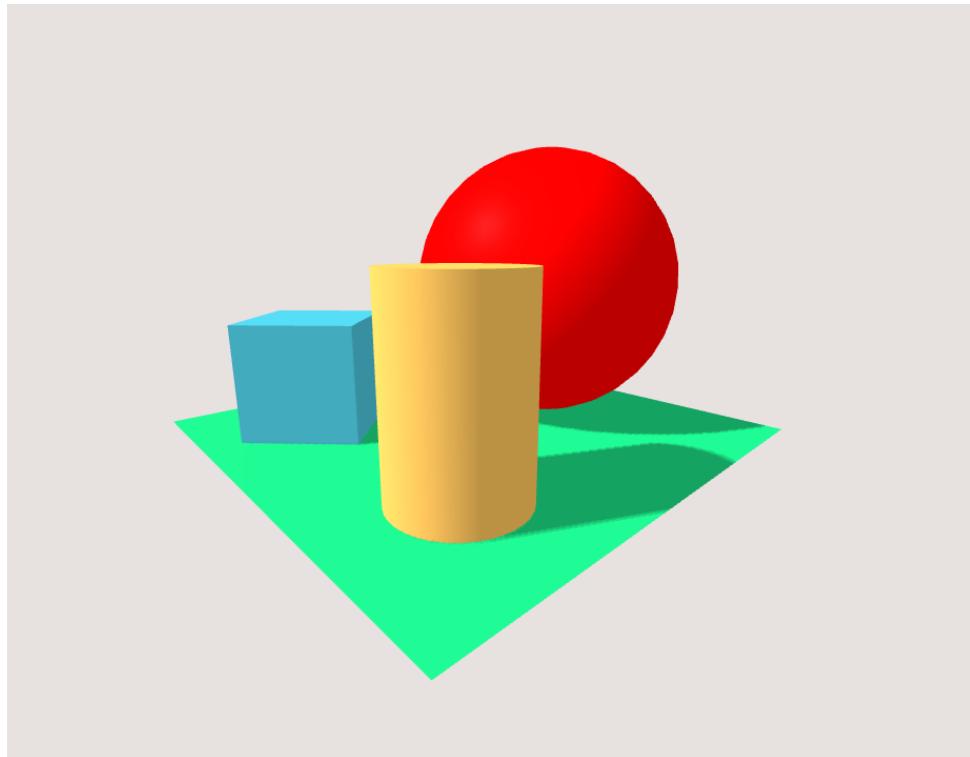


Figura 3.1: Escenario a-frame

A-Frame, además de disponer primitivas como las mostradas, hace posible la creación de primitivas para poder elaborar escenas lo más completas posible. También se pueden incluir entidades más complejas a partir de modelos 3D en formatos como *gltf*, *obj* o *collada* de los cuales se hablará en siguientes apartados.

3.2.2. Entidad, Componente y Sistema

Como ya se ha comentado, A-Frame es un entorno *three.js* con una arquitectura de entidad-componente-sistema (*ECS*). Es un patrón común en 3D y desarrollo de juegos que siguen la composición sobre el principio de herencia y jerarquía. Algunos beneficios que *ECS* aporta son mayor flexibilidad al definir objetos, gran escalabilidad o eliminación de problemas de largas cadenas de herencia. Existe un *API* que representa cada pieza de *ECS*:

- Una entidad se representa con la etiqueta *a-entity*.

```
1 <a-entity geometry="primitive: box" material="color: red">
```

En este ejemplo se hace uso de *a-entity* para crear una caja de color rojo.

- Un componente se representa como un atributo de HTML. Cada componente es un objeto que tiene un esquema, manejadores y métodos. Para registrar componentes se utiliza el método de A-Frame *registerComponent*.

```
1 AFRAME.registerComponent('example', {
2   init: function () {
3     var el = this.el;
4     el.setObject3D('mesh', new THREE.Mesh());
5     el.getObject3D('mesh'); // Returns THREE.Mesh that was
6     just created.
7   }
8});
```

Listing 3.2: Código para registrar un componente

- Un sistema es el representado por atributos HTML mediante la etiqueta *a-scene*. Se registran de manera similar a un componente; gracias al método *registerSystem*.

3.3. Blockly

Blockly es una librería que añade un editor de código visual a aplicaciones web y móviles. Utiliza bloques gráficos para representar conceptos complejos de código de manera más sencilla. De esta manera permite a los usuarios aplicar principios de programación sin tener que preocuparse por la sintaxis y ayuda a iniciarse y a aprender a programar a estudiantes de temprana edad. Esta librería es un proyecto de *Google* y está diseñada por las personas que están detrás de *Scratch* del *MIT* y construido sobre su base de código. Actualmente se encuentra en su versión 1.20190215 y se ha utilizado para crear bloques que den funcionalidad a los robots empleados en la plataforma.

3.3.1. Traductor de código

Blockly es para desarrolladores y las *aplicaciones Blockly* son pensadas para estudiantes. Desde la perspectiva de usuario, *Blockly* es una forma visual e intuitiva de crear código y, desde la de desarrollador, es una interfaz de usuario preparada para crear un lenguaje visual que emite código y se puede exportar a otros lenguajes de programación como *JavaScript*, *Python*, *PHP*, *Lua* o *Dart*.

Estos generadores de código aportan las herramientas para crear funciones, condicionales, bucles, etc. El principal problema de esto es que en ocasiones se requiere del uso de APIs de otras dependencias. *Blockly* aporta una solución; un generador de bloques personalizados que traduce al código que deseemos. Esto aporta mucha flexibilidad y da la funcionalidad deseada para el desarrollo de este proyecto.

3.3.2. Bloques personalizados

Como se ha explicado, *Blockly* dispone de una gran cantidad de bloques predefinidos; desde funciones matemáticas hasta estructuras en bucle. Sin embargo, para interactuar con una aplicación externa, se deben crear bloques personalizados para formar una API. Según la documentación ofrecida por *Google*³, la mejor forma de crear un bloque es buscar un bloque existente con una funcionalidad similar y modificarlo según se necesite. De otra manera, para generar un bloque personalizado, hay varios aspectos a tener en cuenta:

- Primero se define el bloque para determinar su aspecto gráfico y su comportamiento. Esto incluye el texto, color, forma o cómo conectarlos con otros bloques. La configuración de estos parámetros se puede realizar mediante *JSON* o *JavaScript*. El bloque mostrado en la figura 3.2 se puede configurar con los dos métodos de la siguiente manera:

```

1  {
2      "type": "block_test",
3      "message0": "%1 %2",
4      "args0": [
5          {
6              "type": "field_label_serializable",

```

³<https://developers.google.com/blockly/guides/create-custom-blocks/overview>

```

7         "name": "NAME",
8         "text": "custom_block"
9     },
10    {
11        "type": "input_value",
12        "name": "NAME",
13        "check": "Number"
14    }
15 ],
16 "inputsInline": false,
17 "previousStatement": null,
18 "nextStatement": null,
19 "colour": 120,
20 "tooltip": "This is a custom block",
21 "helpUrl": ""
22 }
```

Listing 3.3: Código en JSON para configurar un bloque personalizado

```

1 Blockly.Blocks['block_test'] = {
2     init: function() {
3         this.appendValueInput("NAME")
4             .setCheck("Number")
5             .appendField(new Blockly.FieldLabelSerializable(
6                 "custom_block"), "NAME");
7         this.setInputsInline(false);
8         this.setPreviousStatement(true, null);
9         this.setNextStatement(true, null);
10        this.setColour(120);
11        this.setTooltip("This is a custom block");
12        this.setHelpUrl("");
13    }
14};
```

Listing 3.4: Código en *JavaScript* para configurar un bloque personalizado



Figura 3.2: Bloque personalizado

- Configurar la traducción del bloque a la instrucción deseada en los distintos lenguajes necesarios.
- Inicializar el bloque para que sea visible en el editor visual de código.

Aunque los parámetros del *JSON* son auto-descriptivos, es complicado generar un bloque desde cero. Es por ello que *Google* facilita una herramienta de creación de bloques, la cual se muestra en la figura 3.3. En ella se puede personalizar todos los aspectos del bloque: texto, color, variables de entrada, formas de conexión con otros bloques, etc. Además, da la opción de exportar la configuración del bloque en formato *JSON* o *JavaScript* y muestra una función con la configuración básica para obtener el código en *JavaScript* (y permite seleccionar el lenguaje deseado entre los admitidos por *Blockly*).

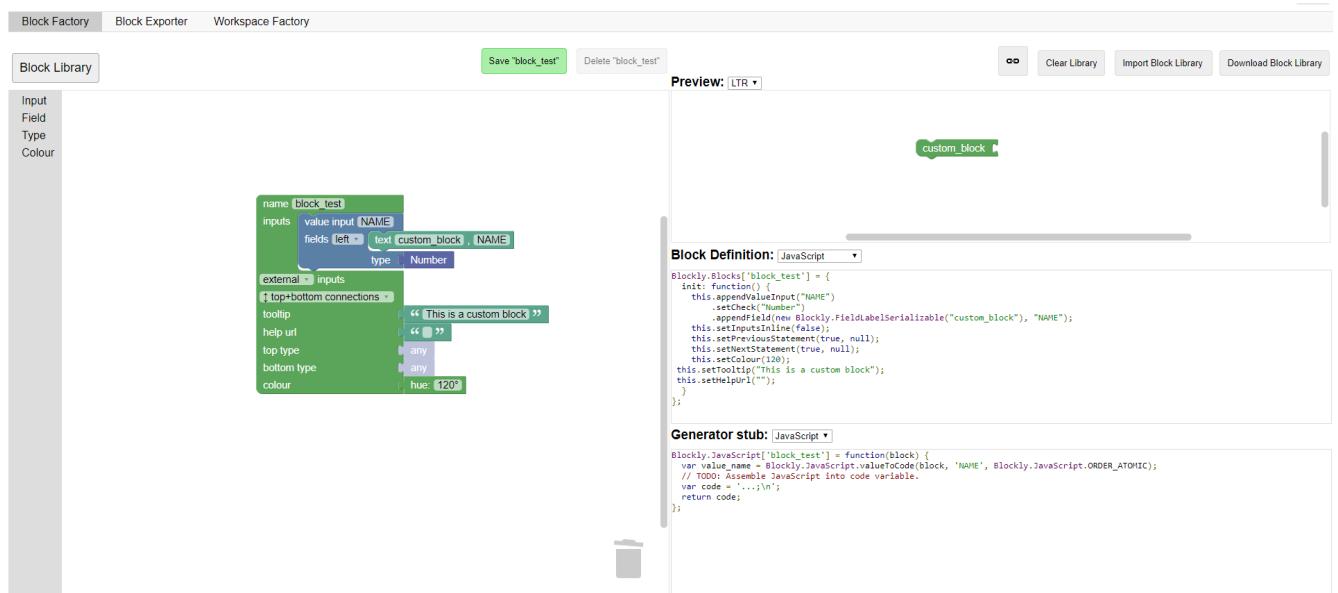


Figura 3.3: Herramienta para creación de bloques personalizados

3.4. Gestores de paquetes

Un gestor de paquetes es una herramienta para automatizar el proceso de instalación, actualización, configuración y eliminación de software. En este proyecto se han utilizado *NPM* y *Webpack* en sus versiones 3.5.2 y 4.41.2 respectivamente. Se han empleado para descargar los paquetes y dependencias para la correcta ejecución de la aplicación y para generar los *bundles* correspondientes.

3.4.1. NPM

*Node Package Manager*⁴ (*NPM*) es el sistema de gestión de dependencias por defecto para *Node.js*, que es un entorno de ejecución para *JavaScript* y permite, con la configuración de un fichero, descargar dependencias y paquetes necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación. Todo ello ha de estar definido en un fichero llamado *package.json* que debe ser escrito en *JSON*. Para usar *NPM* como instalador de paquetes únicamente hay que ejecutar `"npm install."`^{en} el directorio en el que se encuentre el fichero *package.json*. Además, gracias a este gestor, podemos configurar pequeños *scripts* para ejecutar algún proceso como lanzar una aplicación después de la instalación o empaquetar la aplicación en *bundles* combinándolo con *Webpack*.

3.4.2. Webpack

*Webpack*⁵ es un sistema de *bundling* usado para empaquetar una aplicación web en su fase de producción. Se puede considerar una evolución de *Grunt*⁶ y *Gulp*⁷ porque permite automatizar procesos principales tales como transpilar y preprocesar código.

3.5. Blender

Blender es un programa libre dedicado al diseño y animación 3D. Mediante una interfaz gráfica permite diseñar objetos, personajes y escenas en tres dimensiones con muy diversas

⁴<https://www.npmjs.com/>

⁵<https://webpack.js.org/>

⁶<https://gruntjs.com/>

⁷<https://gulpjs.com/>

técnicas. Cada uno de los elementos creados pueden ser animados mediante *keyframing* o animación por fotogramas clave. En su origen *Blender* fue distribuido como una herramienta privada explotada por un estudio de animación, pero actualmente se encuentra bajo licencia *GPL*⁸.

La versión utilizada en este proyecto es la 2.79 y se ha empleado para la creación de modelos y escenarios para ser incluidos en el simulador *WebSim*. En la imagen 3.4 se puede ver la interfaz gráfica de *Blender*.

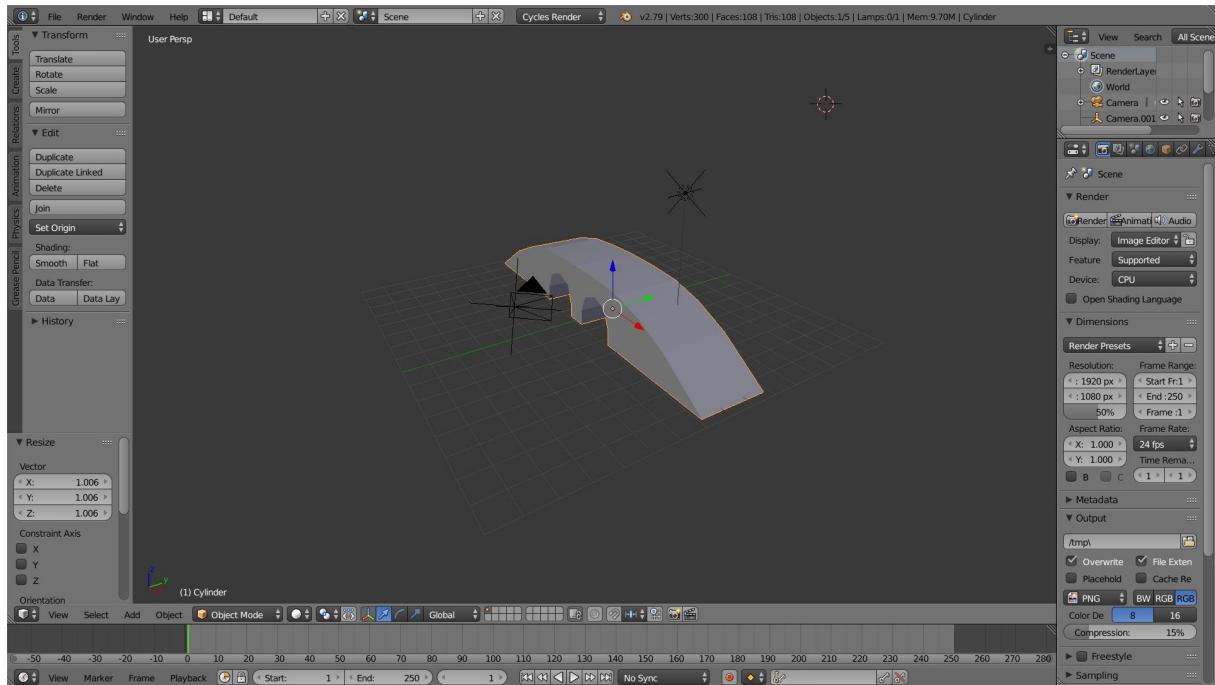


Figura 3.4: Interfaz gráfica de *Blender*

Entre las muchas características que ofrece *Blender*, las más útiles para el desarrollo del proyecto son:

- **Modelados:** es el proceso mediante el cual se crean objetos en un espacio 3D de manera digital. Están compuestos de líneas, puntos, cuadrados, triángulos, etc.
- **Iluminación:** existen varios tipos de luz que se pueden adaptar a la escena. Es posible aplicar a cada uno de los objetos para especificar la luz recibida por cada uno de ellos además de variar aspectos como la intensidad, el color o la posición en el escenario.

⁸<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>

- **Tracking:** permite especificar el comportamiento y características de un determinado objeto en el escenario tridimensional.
- **Animaciones:** cada objeto se puede animar de manera independiente. Se realiza mediante una secuencia de fotogramas en la cual cada instante de tiempo es un fotograma en el cual se especifica cualquier tipo de característica (rotación, movimiento, cambio de color, etc).
- **Texturizado:** son un medio para agregar o eliminar detalles a la superficie de un determinado objeto. Proyectando imágenes sobre la superficie del mallado se pueden aplicar patrones para personalizar el aspecto de la textura.

Además permite exportar los modelos a los formatos más usados para *A-Frame*: *glTF* y *COLLADA*.

3.5.1. COLLADA

COLLaborative Design Activity (COLLADA) es un formato de archivo de intercambio para aplicaciones 3D interactivas. Se define como un esquema *XML* para intercambiar activos digitales entre varias aplicaciones de software de gráficos. Son definidos con la extensión *.dae* y pueden hacer referencia a archivos de imagen adicionales que actúan como texturas del objeto 3D.

3.5.2. glTF

GL Transmission Format (*glTF*) es una especificación basada en el estándar *JSON* para transmisión y carga eficiente de escenas y modelos 3D para aplicaciones. Este formato minimiza el tamaño de los ficheros y su tiempo de ejecución necesario para desempaquetar y usarlos. Permite animación de los objetos, que puede ser activada por *A-Frame* vía *HTML* o dinámicamente con *JavaScript*. En la imagen 3.5 se puede ver la figura añadida a un escenario de *A-Frame* vía *HTML*:

```

1 <a-asset-item id="tree" src="assets/models/tree.dae"></a-asset-item>
2 <a-entity id="a-tree" collada-model="#tree" rotation="0 0 0" position=""
           2.75 0.01 -2.27">
```

Listing 3.5: Código para añadir un modelo 3D personalizado a A-Frame

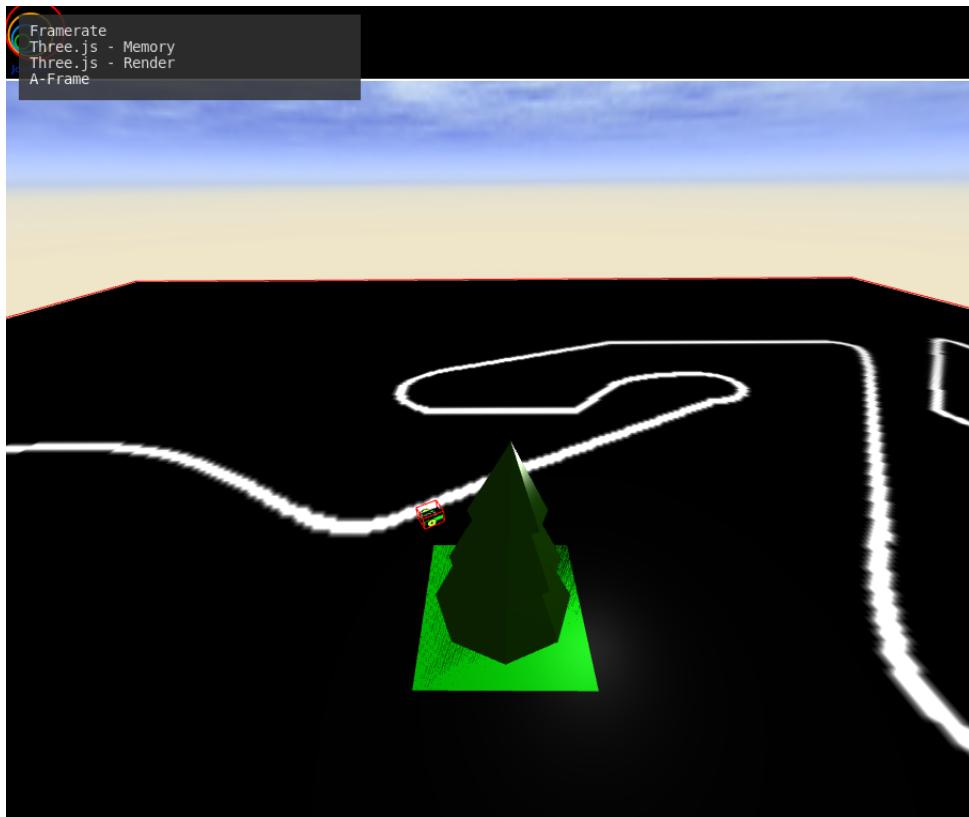


Figura 3.5: Modelo glTF añadido en un escenario de A-Frame

Además del *software* explicado en esta sección, existen multitud de herramientas para convertir a glTF desde formatos como *OBJ*, *COLLADA* o *PCD*⁹. De esta manera es posible buscar modelos 3D en librerías¹⁰ para editarlos e incluirlos en *Websim*.

3.6. Simulador WebSim

Websim es un simulador diseñado para enseñar conceptos básicos de tecnología e iniciar a niños en robótica y programación. La versión inicial de la que parte este proyecto está desarrollada por Álvaro Paniagua Tena¹¹ y dada su importancia en el desarrollo de este TFG, se describe con cierta profundidad.

⁹<https://github.com/KhronosGroup/glTF>

¹⁰<https://sketchfab.com>

¹¹https://github.com/RoboticsLabURJC/2018-tfg-alvaro_paniagua

3.6.1. Diseño

El simulador hace uso del entorno *A-Frame* y su diseño permite conectar un editor de texto o un editor de bloques para programar en *JavaScript* o *Blockly* y conectar este código con el robot simulado. También permite acoplar una aplicación externa al navegador a través de comunicaciones ICE. En la imagen 3.6 se puede ver el diseño de *WebSim*.

Las principales funcionalidades del simulador son:

- Registrar los componentes principales para constituir un robot en *A-Frame*, los cuales son *followBody*, *spectatorComponent* e *intersectionHandler*. El primero se encarga de simular una cámara en el robot, el segundo maneja eventos de intersección de los láseres y el último permite anclar distintos elementos al robot simulado.
- Ofrece una interfaz en *JavaScript* para manejar el robot en el entorno simulado de *A-Frame* llamada *Hardware Abstraction Layer (HAL API)*. *Websim* se encarga de enviar instrucciones al robot de manera sencilla sin necesidad de comunicarse con el motor de *A-Frame*.
- No es necesario que el usuario instancie ningún tipo de variable de la clase que contiene al objeto robot porque el simulador lo ofrece de manera directa. De esta manera el usuario puede mandar directamente instrucciones al robot simulado con el objeto *myRobot* y los métodos existentes de la clase *RobotI*.
- Permite manejar la ejecución de la simulación del robot. Es decir, permite lanzar o pausar la ejecución del robot e incluso reiniciar su posición para no tener que recargar la página en caso de querer probar distintos códigos con la misma simulación. Además este control del entorno evita que la variable *myRobot* pierda el objeto instanciado porque el usuario cambie su valor.

Gracias a estas características, el simulador hace que los usuarios puedan programar de manera sencilla, ya que solo tienen que acceder a la información que ofrecen los sensores del robot y mandar órdenes sobre los actuadores del mismo. Es decir, solo se tienen que encargar de programar la lógica del robot para resolver los ejercicios propuestos que se explicarán en próximos capítulos.

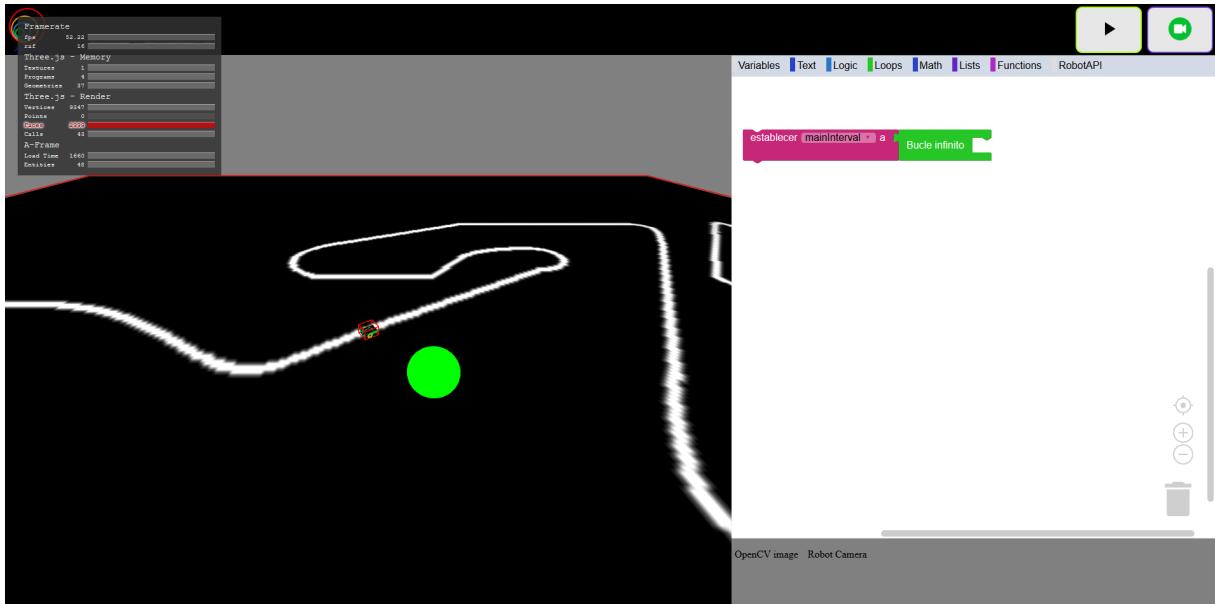


Figura 3.6: Interfaz gráfica de *WebSim*

3.6.2. Clase Robot

Para tener una entidad en *A-Frame* que pueda ser programada por el usuario existe un clase en *JavaScript* llamada *RobotI*. El constructor de esta clase es un método obligatorio y es al primero que se llama cuando se instancia un objeto. Tiene un parámetro de entrada que es una cadena de caracteres con el identificador de la etiqueta *HTML* en la que se encuentra el robot simulado. Además de inicializar el robot, la clase contiene una serie de variables para su configuración:

- ***defaultDistanceDetection***: declara la distancia máxima en la que los sensores de ultrasónico detectan un objeto.
- ***defaultNumOfRays***: declara el número de rayos que se simulan para detectar objetos. Abarca un ángulo de 180 grados y, por lo tanto, cuanto mayor sea el número, más precisión habrá en la detección de objetos.
- ***robot***: crea la unión entre la clase y la entidad del robot simulado en *A-Frame*.
- ***initialPosition***: en la inicialización del robot, obtiene del *HTML* la posición del robot y la guarda en esta variable.

- ***initialRotation***: en la inicialización del robot, obtiene del *HTML* la rotación del robot y la guarda en esta variable.
- ***activeRays***: es una variable de tipo *boolean* y permite saber si los rayos del sensor de ultrasonidos están activos no.
- ***distanceArray***. Es un objeto en *JavaScript* con tres variables tipo *array* y almacena la distancia con los objetos detectada por los sensores de ultrasonido. Las variables están diferenciadas en derecha, centro e izquierda y permite conocer donde se encuentra la ubicación del objeto detectado.
- ***understoodColors***: variable que permite asociar un color como tipo *string* a sus valores de filtro en el espacio *RGB*. Esto permite hacer más simple la detección de los objetos para los usuarios ya que con el nombre del color se puede realizar el filtro sin necesidad de tener conocimientos sobre visión artificial.
- ***velocity***: variable que guarda la velocidad del robot en los distintos ejes (x,y,z). En el eje X se almacena la velocidad en el plano horizontal y en el eje Z la velocidad de giro. La velocidad del eje Y será útil en el desarrollo del proyecto ya que es la que otorga velocidad de elevación.

Además, el constructor llama a los métodos para inicializar los motores y sensores los cuales tienen sus propios métodos para su manejo.

3.6.3. Drivers de sensores

El robot consta de sensores simulados con *A-Frame*. Los drivers permiten que el usuario, vía *JavaScript*, pueda acceder a estos y obtener su información. En este entorno disponemos de los siguientes sensores:

- **Ultrasonido**: permite detectar obstáculos en un radio de 180 grados en la parte frontal del robot. En *A-Frame* se simula gracias al atributo *raycaster* el cual permite conocer el punto de intersección entre un rayo emitido y un objeto. Para la simulación de este sensor se usan los componentes *followBody* (para anclar un *raycaster* al robot y que pueda seguir la posición del robot) e *intersectionHandler* (que crea un manejador para controlar el evento

que lanza un *raycaster* cuando un objeto se interpone en el rayo que emite). Además, este componente es capaz de detectar el identificador del *raycaster* y la distancia a la que es detectado.

- **Cámara:** obtiene una imagen con lo que capta el robot de la escena. Para su simulación se ha creado el atributo *spectator* y permite mostrar la visión del robot en primera persona.
- **Infrarrojos:** dispositivo que está compuesto de un LED infrarrojo y un fototransistor siendo capaz de detectar si el objeto con el que choca la luz emitida por el LED es una superficie blanca (la luz rebota y llega hasta el fotoreceptor) o negra (la superficie absorbe toda la luz y no llega al fotoreceptor). Para simular este sensor se emplea una cámara y se recorta la imagen obtenida para quedarse con los píxeles de la parte inferior (con una dimensión de 5x150px). La función del *HAL API* que hace referencia a este sensor es *readIR(color)* siendo el parámetro pasado a la función un color en formato de *string* que toma como variable *undestandedColors* para obtener los valores del filtro correspondiente. De tal manera, después del filtrado se obtiene una imagen según la posición en la que se encuentre la línea a seguir y según donde esté el centro devuelve distintos valores: 0 si la línea se encuentra entre los píxeles 57 y 93 de la imagen, 1 entre los píxeles 0 y 57, 2 si la línea está entre 93 y 150 y 3 si no detecta la línea.
- **Odómetro:** obtiene la posición absoluta del robot durante la ejecución del código. Para la simulación de los sensores de odometría se ha hecho uso del sistema de coordenadas y rotación de *A-Frame* y se ha hecho el cálculo a través de su *API* en *JavaScript*.

En la tabla 3.1 se explican todas las funciones del *HAL API* que hacen referencia a los sensores.

Cuadro 3.1: Métodos (HAL API) de los sensores del robot.

Método	Descripción	Salida
.getDistance()	Devuelve la distancia entre el robot y la intersección del raycaster en el centro	number(metros)
.getDistances()	Devuelve la distancia entre el robot y la intersección con cada una de los raycaster	list number(metros)
.readIR(color)	Recorta la imagen, filtra y calcula el centro del objeto con el color pasado como argumento	number
.getRotation()	Retorna un objeto con la orientación del robot en los 3 ejes	{x:number, y:number, z:number}
.getPosition()	Obtiene la posición del robot en la escena	{x:number, y:number, z:number}
.getImage()	Devuelve la imagen de la cámara del robot	cv.Mat()
.getObjectColor(color)	Devuelve un objeto con la posición del elemento detectado por la cámara del color pasado por parámetro	{center:[x,y], area: int}
.getObjectColorRGB(valorBajo,valorAlto)	Devuelve un objeto con la posición del elemento detectado por la cámara con los valores pasados por parámetro	{center:[x,y], area: int}

3.6.4. Drivers de actuadores

La función de los actuadores es otorgar movimiento al cuerpo del robot simulado en *A-Frame*. Con los métodos creados, además, no es necesario mandarle órdenes constantemente, si no que es suficiente con mandar la instrucción una vez y el robot seguirá ejecutándola hasta que reciba una nueva.

Para que el robot siga las órdenes mandadas existen los siguientes métodos:

- **getV**: Método para conocer la velocidad lineal ordenada al robot.
- **getW**: Método que devuelve la velocidad angular comandada.
- **setV**: Método que permite ordenar velocidad lineal al robot.
- **setL**: Método para que el usuario comande la velocidad angular del robot.
- **move**: Método que sirve para ordenar tanto velocidad lineal como angular.

Después de llamar a cada uno de estos métodos, se guarda la velocidad pasada por parámetro en la variable interna llamada *velocity* y, para calcular la posición en el escenario simulado con *A-Frame* es necesaria la siguiente función:

```

1 updatePosition(rotation, velocity, robotPos) {
2     let x = velocity.x/10 * Math.cos(rotation.y * Math.PI/180);
3     let z = velocity.x/10 * Math.sin(-rotation.y * Math.PI/180);
4     robotPos.x += x;
5     robotPos.z += z;
6     return robotPos;
7 }
```

Listing 3.6: Función para actualizar la posición del robot en el escenario

En esta función se establece la nueva posición relativa para el objeto. En cada iteración se calcula y se establece nueva posición y rotación del robot. Además, gracias a la función de *JavaScript* llamada *setTimeout*, se establece un temporizador para actualizar la posición del robot llamando a la función *updatePosition* iterativamente cada cierto periodo de tiempo. Esto permite simplificar el código ya que hace que no es necesario mandar órdenes al robot constantemente.

En la tabla 3.2 se explican todas las funciones del *HAL API* que hacen referencia a los actuadores.

Cuadro 3.2: Métodos (HAL API) de los actuadores del robot.

Método	Descripción
.setV(integer)	Mueve hacia delante o atrás el robot.
.setW(integer)	Hace girar al robot.
.move(integer, integer)	Mueve el robot hacia delante/atrás y gira al mismo tiempo.
.getV()	Obtener la velocidad lineal configurada en el robot.
.getW()	Obtener la velocidad angular configurada en el robot.

Capítulo 4

Mejoras a WebSim

Una vez presentado el contexto, objetivos y herramientas empleadas, en este capítulo se detallan todas las mejoras realizadas del simulador *WebSim* y cómo se han llevado a cabo.

4.1. Drone

Uno de los objetivos principales del TFG era ampliar el soporte para otros robots y escenarios en *WebSim*. Se ha comenzado dando soporte a drones debido a las diferencias con el *piBot* del que ya disponía soporte. Para ello hay que extender el *software* existente de la plataforma.

4.1.1. Drivers

Una de las principales diferencias es el movimiento vertical, tanto para darle velocidad al *drone* como para actualizar la posición. Se han creado las siguiente funciones para ello:

- ***setL()***: Método que permite ordenar velocidad vertical al *robot*.
- ***getV()***: Método que devuelve la velocidad vertical del *robot*.
- ***despegar***: Método que da velocidad vertical al *robot* hasta alcanzar cierta altura.
- ***aterrizar***: Método que da velocidad vertical negativa al *robot* hasta que alcance el suelo.

Además, se ha editado la función *move* para que acepte 3 parámetros (añadiendo velocidad vertical como nuevo parámetro) y se ha extendido la función *updatePosition()* para poder actualizar el eje Y en la escena de *WebSim*.

```

1   updatePosition(rotation, velocity, robotPos) {
2       let x = velocity.x/10 * Math.cos(rotation.y * Math.PI/180);
3       let z = velocity.x/10 * Math.sin(-rotation.y * Math.PI/180);
4       let y = (velocity.y/10);
5       robotPos.x += x;
6       robotPos.z += z;
7       robotPos.y += y;
8       return robotPos;
9   }

```

Listing 4.1: Función para actualizar la posición del robot en el escenario

En la tabla 4.1 se explican todas las funciones del *HAL API* que extienden la plataforma para dar soporte al *drone*.

Cuadro 4.1: Métodos (*HAL API*) de los actuadores implementados para el drone.

Método	Descripción
.setL(integer)	Mueve hacia arriba o hacia abajo el robot.
.getL()	Devuelve la velocidad vertical del robot.
.move(integer, integer, integer)	Mueve el robot hacia delante/atrás, arriba/abajo y gira al mismo tiempo.
.despegar()	Comanda velocidad vertical al robot hasta que alcanza una determinada altura.
.aterrizar()	Comanda velocidad vertical negativa al robot hasta que alcanza el suelo.

Uno de los principales problemas encontrados es que el motor de físicas de *A-Frame* no simula correctamente la posición de robot al otorgarle velocidad vertical y hace que el robot “rebote” sobre el escenario. Esto es debido a que el escenario tiene un atributo llamado gravedad que se aplica cada pocos milisegundos y entra en conflicto con la función *updatePosition*. Se ha solucionado cambiando su valor haciendo que el escenario carezca de gravedad cuando se simula el *drone*. Además, se han realizado una serie de pruebas para comprobar el comportamiento del *drone*.

El coste computacional aumenta al otorgarle gravedad al escenario porque hay que aumentar las iteraciones en las que el motor de físicas de *A-Frame* actúa. De este manera, a más iteraciones más realista es la simulación de la gravedad, pero mayor es el coste computacional.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 4.2.

Cuadro 4.2: Pruebas de valores de gravedad e iteraciones

Gravedad	Iteraciones	Mín. IPS	Máx. IPS	Media IPS	Coste gráfico
-4	30000	17	60	47	32.95 %
-4	50000	3	60	50	38.82 %
-2.5	1000000	3	60	51	41.72 %
-3.5	1000000	33	60	50	41.5 %

El mejor resultado se ha obtenido fijando la gravedad a -3.5 y las iteraciones a 1000000, de esta manera existe gravedad en el escenario y no supone un coste computacional demasiado grande.

4.1.2. Bloques Scratch

Una vez implementado el código *JavaScript* para el soporte del drone, es necesario crear los bloques con *Blockly* para poder añadir sus funcionalidad en el editor de *Scratch*.

Para ello, se han creado 4 bloques con las funciones anteriormente explicadas:

- Velocidad ascenso: Comanda la velocidad ascendente del bloque que se le adjunte.



Figura 4.1: Bloque de velocidad de ascenso

- Velocidad descenso: Comanda al robot la velocidad descendente del bloque que se le adjunte.



Figura 4.2: Bloque de velocidad de descenso

- Aterrizar: Comanda velocidad vertical al *drone* hasta que alcance cierta altitud. Mantendrá esa posición hasta recibir una nueva orden.



Figura 4.3: Bloque de aterrizaje

- Despegar: Comanda velocidad vertical negativa al *drone* hasta que alcance el suelo.



Figura 4.4: Bloque de despegue

Para que los bloques aparezcan en el editor de *Scratch* es necesario importarlos e inicializarlos en el fichero que lo configura. Se pueden ver los bloques traducidos a inglés e implementados en el espacio de trabajo en la figura 4.5.

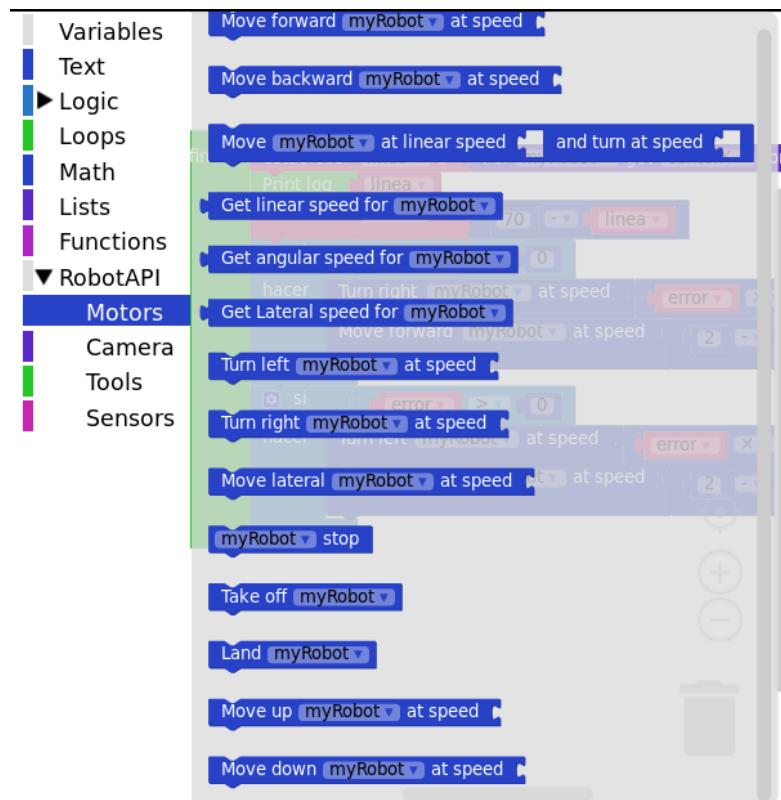


Figura 4.5: Espacio de trabajo de *Scratch* con los bloques del drone incorporados

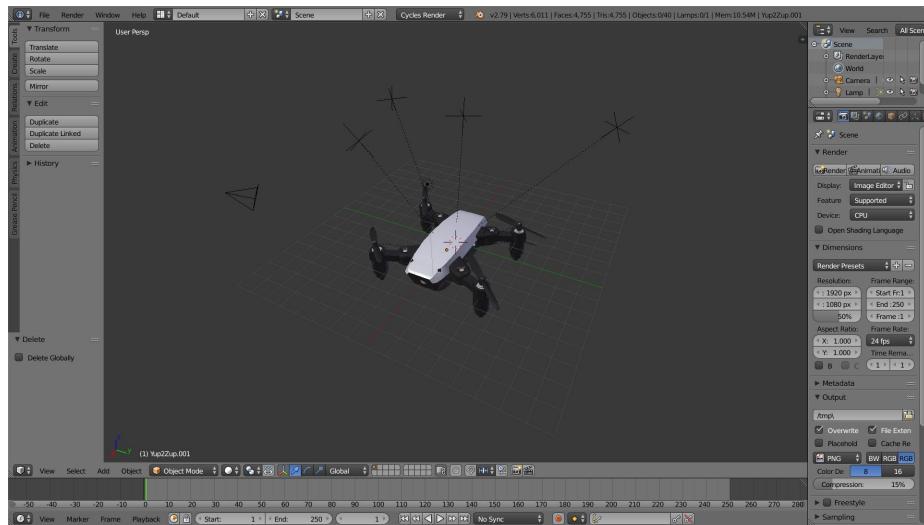


Figura 4.6: Drone en Blender

4.1.3. Modelo 3D

Para simular el robot en el entorno de *A-Frame* es necesario realizar un modelo tridimensional. Para ello se ha buscado un modelo en una librería¹ y se ha editado en *Blender* (figura 4.6) para que se ajuste a los requisitos del entorno. Las modificaciones que se han realizado al modelo son:

- Reducción de polinomios para que no se ralentice la carga del mundo.
- Rotación del modelo para que encaje con la orientación que disponía el anterior robot. Es decir, que el robot tenga su parte frontal mirando hacia el eje X positivo para que al comandarle velocidad lineal se desplace hacia delante.
- Modificación de la luz para adaptarla al escenario de *WebSim*.
- Elaborar una animación a las hélices para darle un aspecto más realista. Esta animación se activa vía *software* cuando el drone despegue del suelo².

El drone implementado en el entorno de *Websim* se puede ver en la figura 4.7.

¹<https://sketchfab.com/>

²<https://www.youtube.com/watch?v=XjQNhNCKOJA>

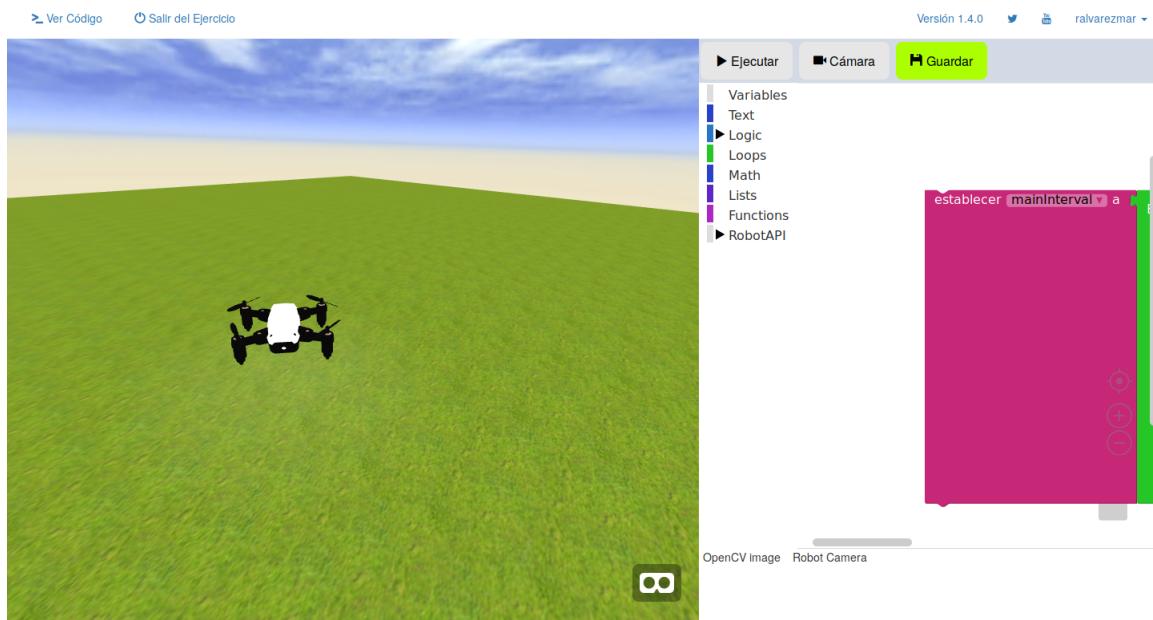


Figura 4.7: Escenario de WebSim con drone integrado

4.2. Escenarios y ejercicios

Se han incorporado nuevos escenarios a *WebSim* que dan la posibilidad de realizar nuevos ejercicios y mejorar los ya disponibles. En esta sección se explicarán los escenarios con un solo robot y se hará mención a lo que tienen con dos robots, que se explicarán en profundidad más adelante.

4.2.1. Sigue-líneas visión

Se ha mejorado el escenario cambiando la textura del suelo a una creada con la trazada del circuito de Interlagos. Se ha realizado con un programa de diseño gráfico y, debido a su peso, se ha reducido posteriormente su tamaño para aliviar los tiempos de carga.

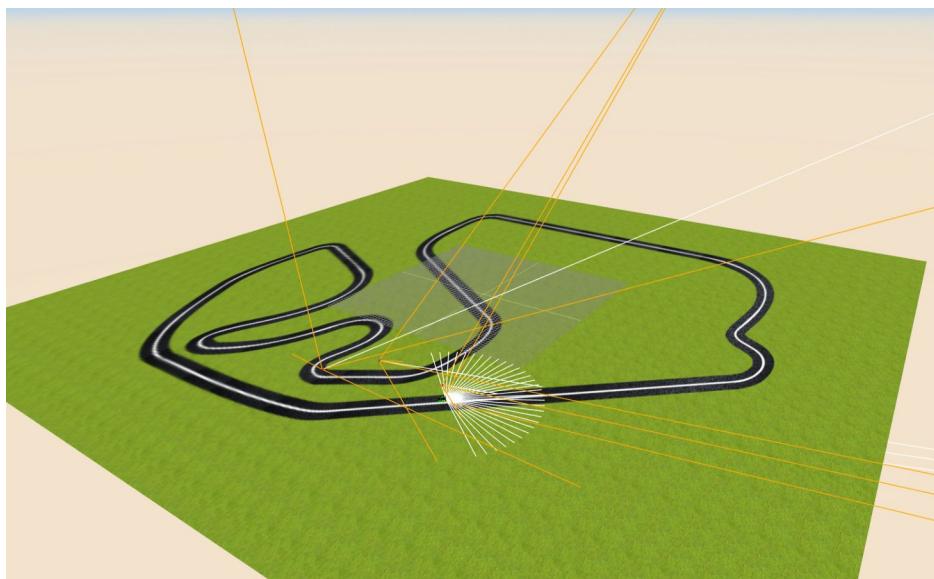


Figura 4.8: Escenario para el ejercicio *piBot sigue-líneas con cámara*

4.2.2. Sigue-líneas infrarrojos

Con un recorrido similar a sigue-líneas visión, pero con fondo blanco y recorrido negro para facilitar la implementación de código al robot real y que no haya que realizar modificaciones. Para que funcione correctamente ha sido necesario añadir el color blanco a *undescribedColors* para realizar el filtro y poder pasar “white” como atributo a la función *getColor()*.

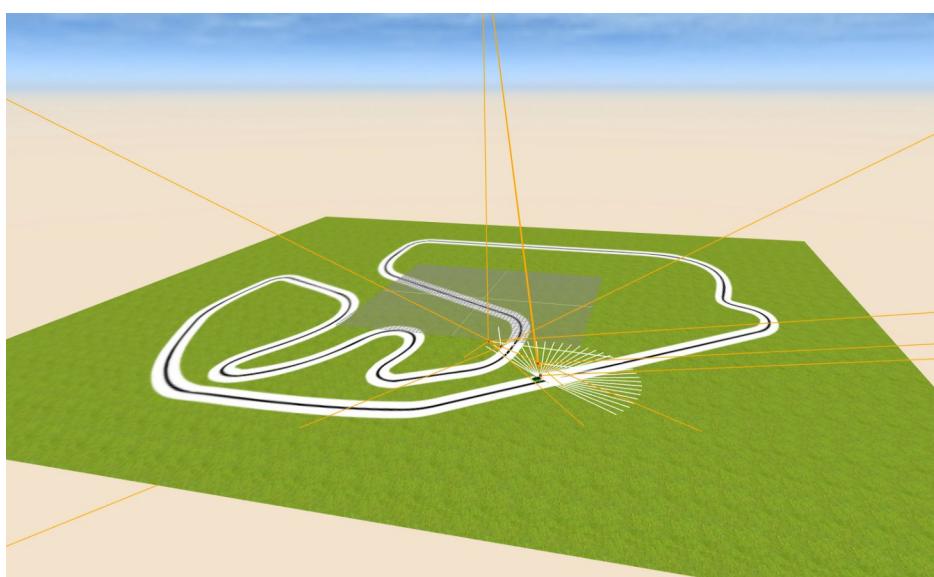


Figura 4.9: Escenario para el ejercicio *piBot sigue-líneas infrarrojo*

4.2.3. Choca-gira

Escenario creado en *Blender* con un aspecto similar a su análogo en *Python*. Para ello se han adaptado la mayor parte de las estructuras que dispone el escenario original para su integración en *WebSim*.

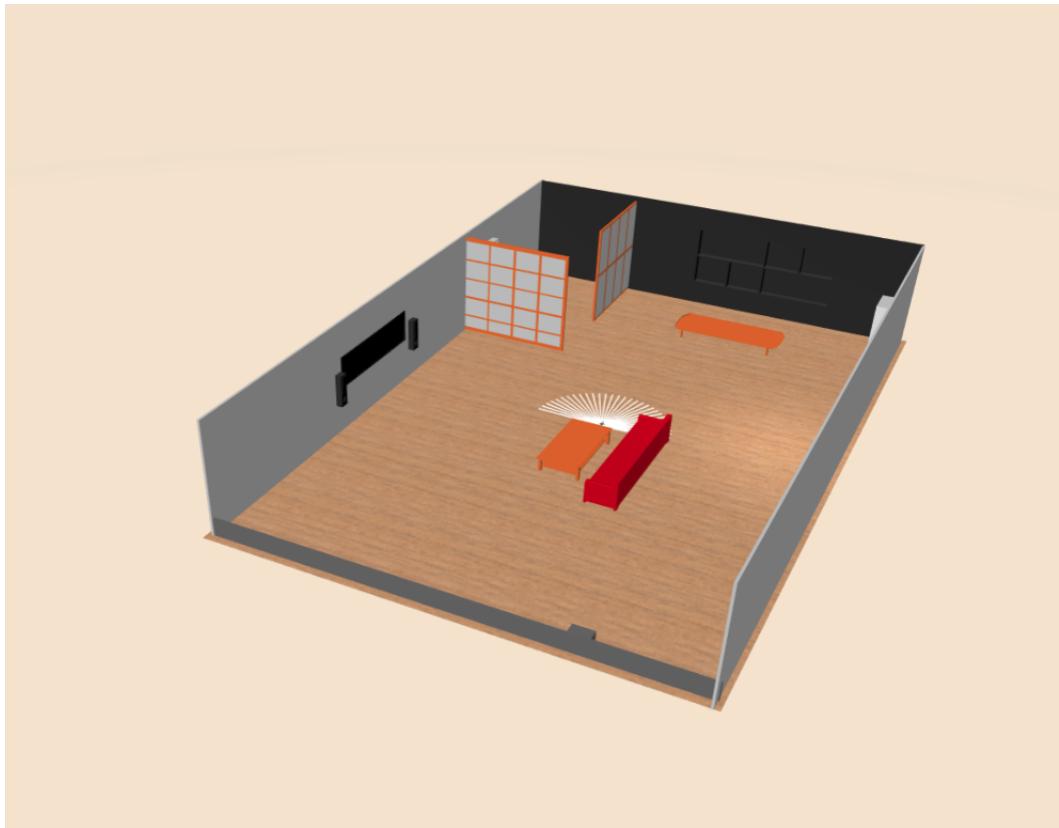


Figura 4.10: Escenario para el ejercicio choca-gira

4.2.4. Sigue-pelota con piBot

El escenario dispone de una pelota de color rojo a la que se le ha dado movimiento a través de primitivas de *A-Frame*. En la figura 4.11 se puede ver una secuencia con la animación de la pelota.

4.2.5. Atraviesa-bosque

Creado con primitivas de *A-Frame*, el escenario tiene disposición de pasillo y diversos objetos en el camino para realizar un ejercicio que haga uso del sensor de ultrasonidos para evitar obstáculos.

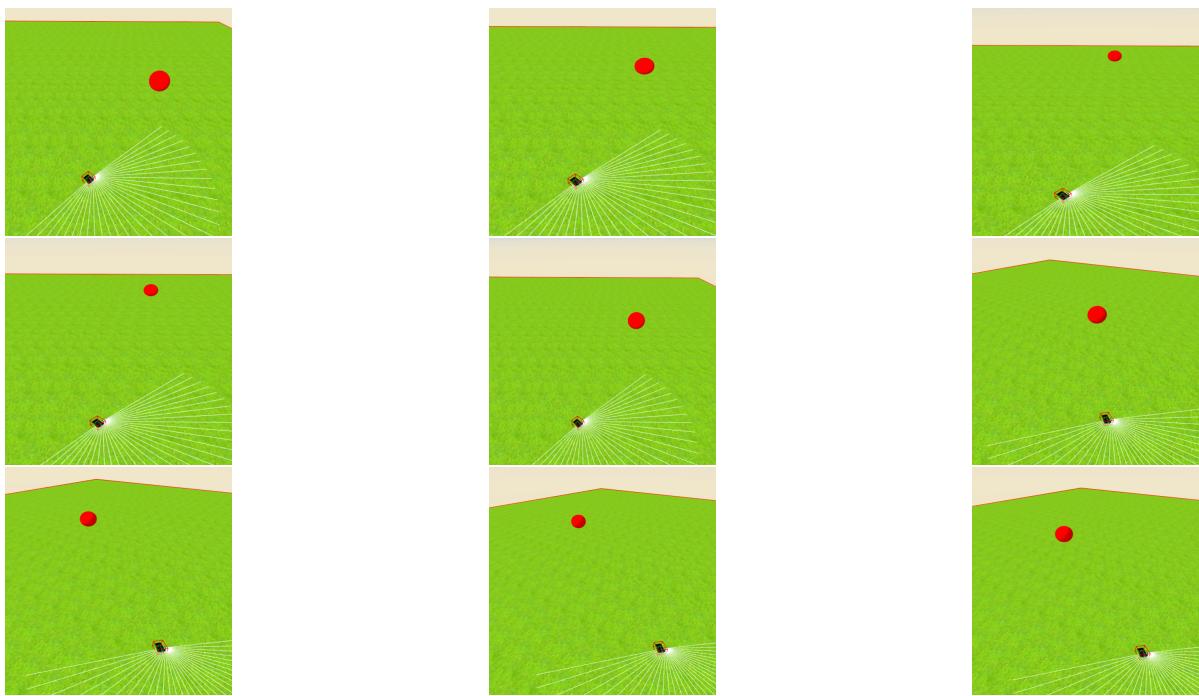


Figura 4.11: Secuencia de la animación de una pelota para el ejercicio piBot sigue-pelota

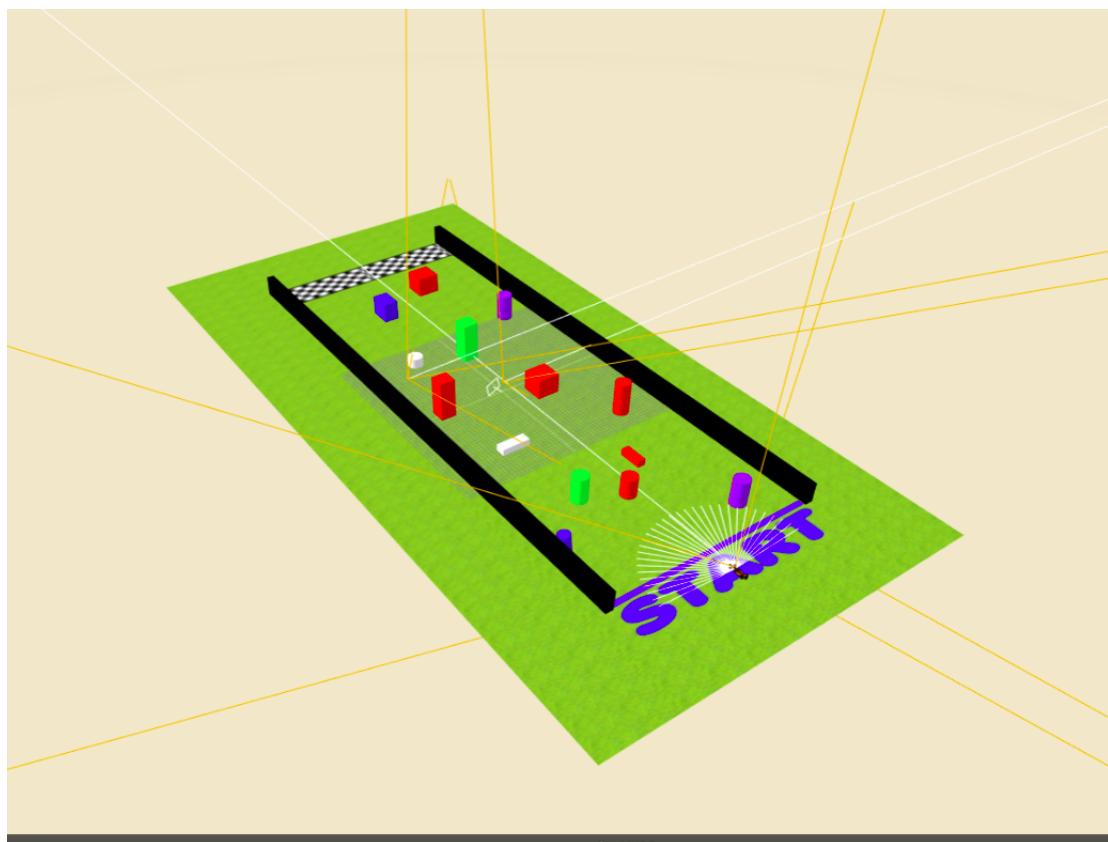


Figura 4.12: Escenario para el ejercicio atravesía bosque

4.2.6. Sigue-pelota con drone

Realizado de forma similar al ejercicio con piBot, pero modificando la animación para que la pelota se mueva también en el eje Y. Se puede ver una secuencia de la animación en la figura 4.13.

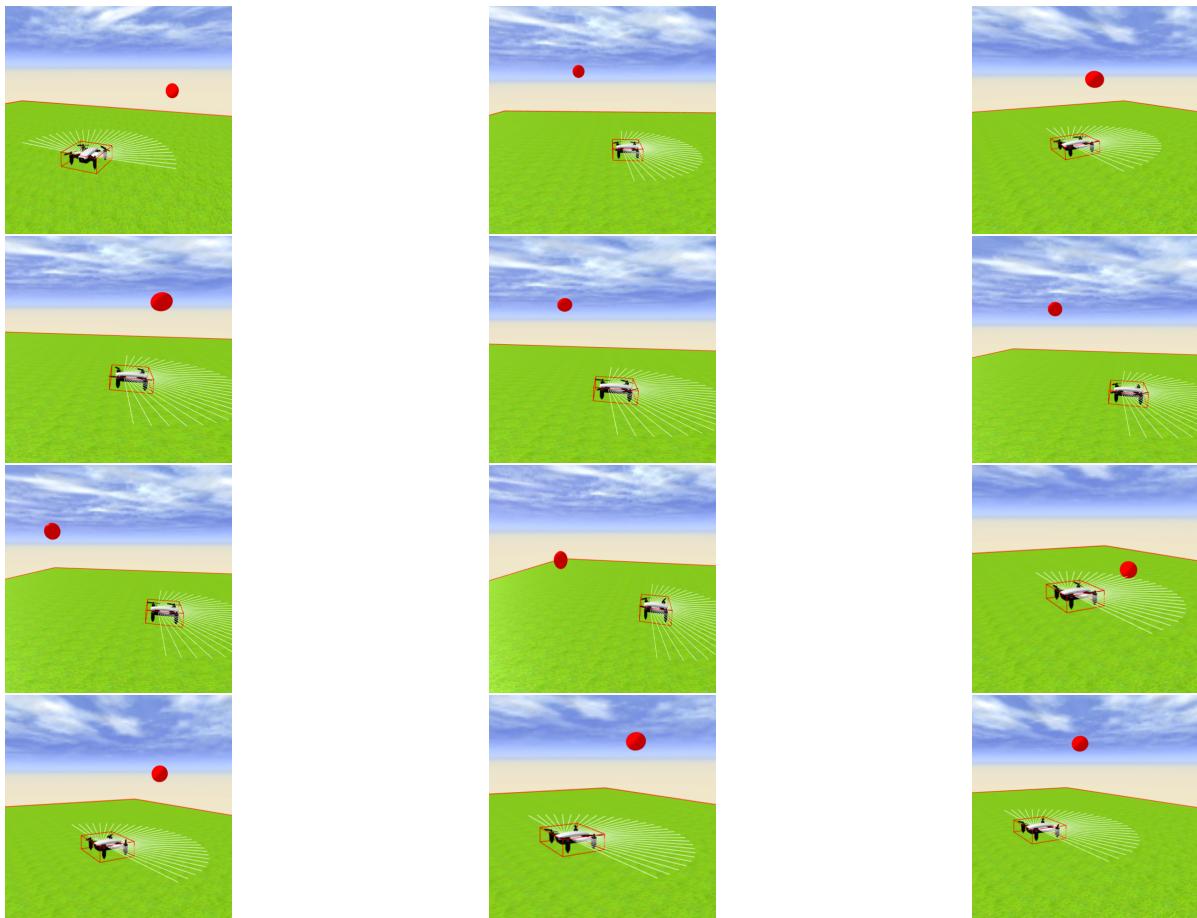


Figura 4.13: Secuencia de la animación de una pelota para el ejercicio *drone sigue-pelota*

4.2.7. Cuadrado con drone

Escenario para facilitar el ejercicio “cuadrado drone” en el que hay que dibujar un cuadrado con el movimiento del *drone*.

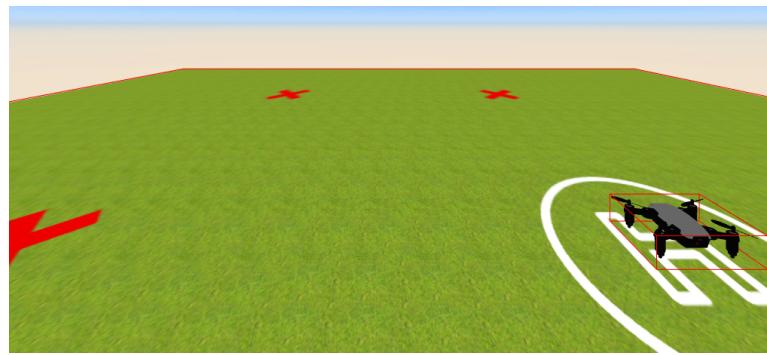


Figura 4.14: Escenario de WebSim para el ejercicio drone cuadrado

4.2.8. Escenarios competitivos

Se han realizado varios escenarios para realizar ejercicios competitivos:

- Muros: prototipo creado para realizar pruebas comandando velocidades a los robots y comprobar el estado de sus sensores.

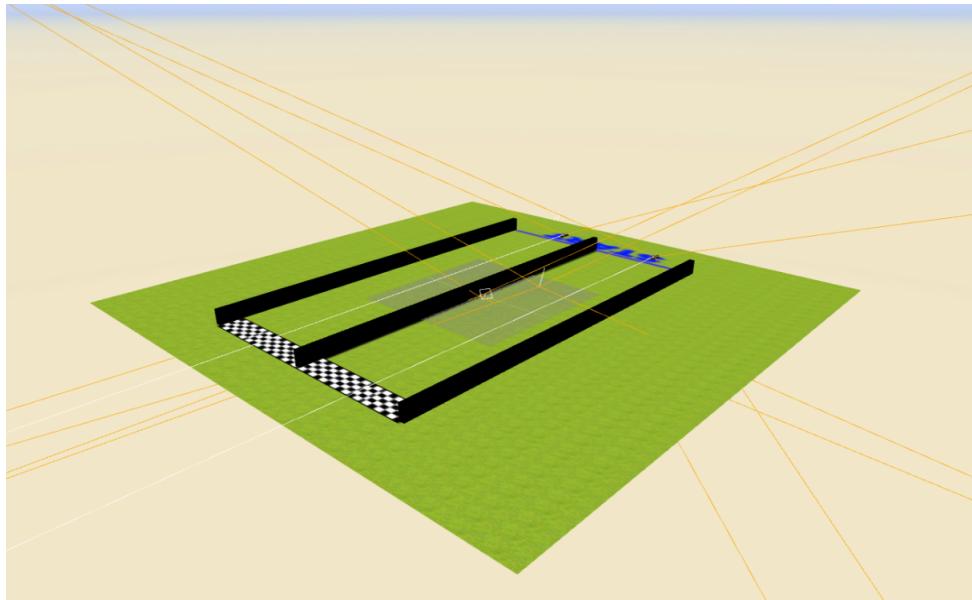


Figura 4.15: Prototipo ejercicio competitivo

- Atraviesa-bosque: ejercicio similar al escenario con un solo robot, pero en este caso se han creado dos pasillos con objetos para recorrerlos sin chocar con ninguno de los obstáculos. Se han añadido distintas primitivas de *A-Frame* en la misma ubicación para los dos *robots* para que el recorrido sea justo.

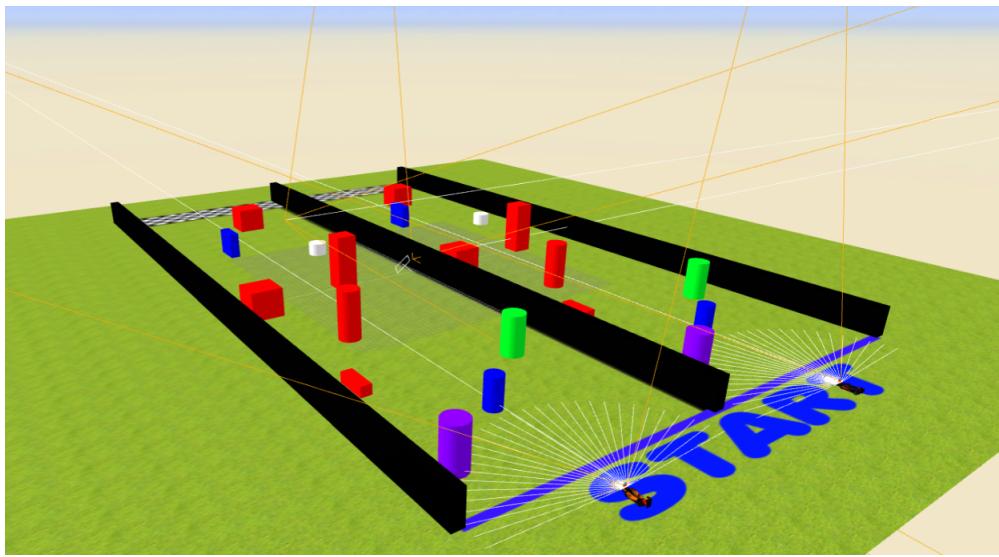


Figura 4.16: Ejercicio atraves-a-bosque competitivo

- Sigue-líneas: escenario con dos robots en el que tienen que seguir una linea de color blanco sobre fondo negro atravesando un puente en medio del circuito para que, de esta manera, ambos recorran la misma distancia.

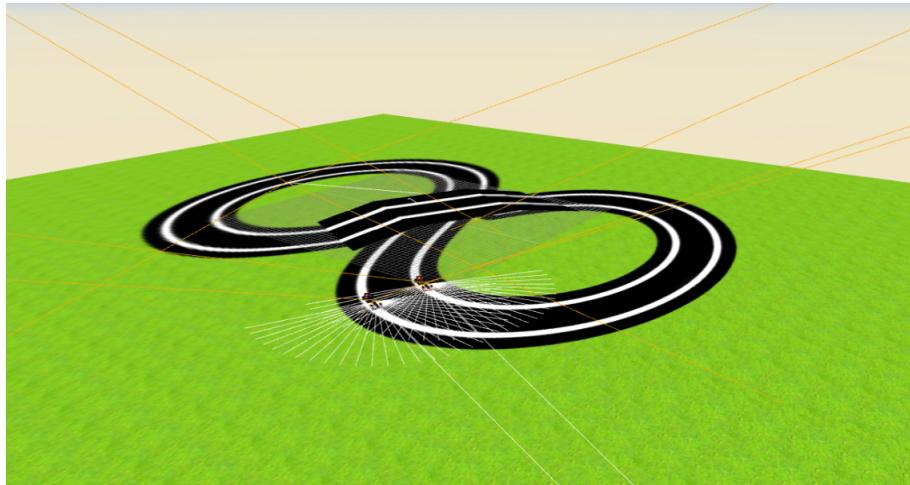


Figura 4.17: Ejercicio sigue-líneas competitivo

Siendo el principal problema el puente creado para el ejercicio sigue-líneas. La solución definitiva ha sido creando primitivas de *A-Frame* (*a-plane*) de tal forma que simule un puente y pueda cruzarlo el coche. Se ha intentado realizar un modelo de puente en *Blender*, pero el entorno no simulaba correctamente la malla de colisiones siendo imposible subir el puente

porque el robot “chocaba” contra él. En la figura 4.18 se puede ver el puente creado y la malla de colisión generada por *A-Frame*.

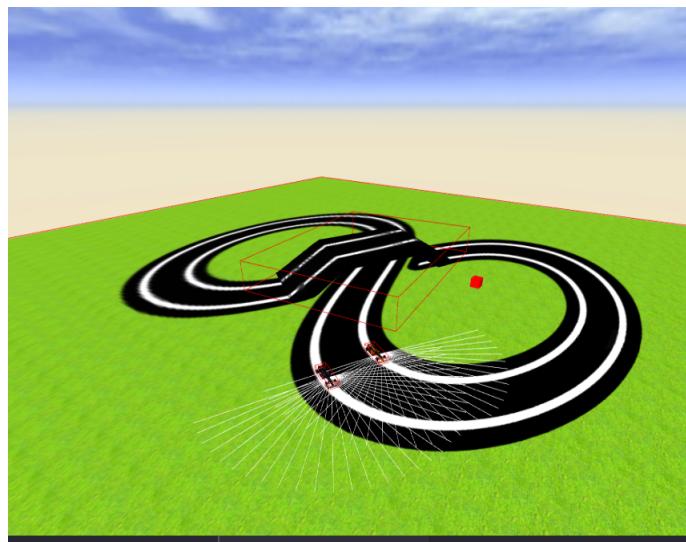


Figura 4.18: Prueba de puente creado en *Blender*

4.3. Teleoperadores

Se han incorporado teleoperadores en *WebSim* para poder controlar los robots sin necesidad de programarlos. De esta manera es posible saber el estado y valor de sus sensores de manera sencilla ayudando a los desarrolladores a buscar fallos en drivers o incorporar nuevos escenarios.

4.3.1. Ficheros de configuración

Para incorporar estos teleoperadores ha sido necesario elaborar unos ficheros de configuración y así poder cambiar el escenario y el *drone* cargado por *A-Frame*.

Estos archivos de configuración se han creado en *JSON* (un formato de texto para representar datos estructurados en la sintaxis de objeto de *JavaScript*) y se ha programado un *script* para cargar cada fichero de configuración. Para ello se crea una variable en el *index.html* del editor con la ruta en la que esté ubicado y el *script* abre el fichero y recorre el *JSON* para dar al escenario los valores establecidos.

En los ficheros creados se pueden configurar aspectos como el modelo del robot cargado, su

posición y rotación, la posición de la cámara a bordo del robot, el fichero del cielo y suelo que debe cargar o los elementos que queramos añadir en el escenario.

```

1  {
2      "robot": {
3          "model": "../assets/models/drone.gltf",
4          "scale": "0.5 0.5 0.5",
5          "position": "12 0 25",
6          "rotation": "0 320 0"
7      },
8      "gravity": 0,
9      "ground": "../assets/textures/escenarioLiso.png",
10     "sky": "../assets/textures/sky.png",
11     "secondaryCamera": "0 0 0",
12     "cameraRobot": "0 0.03 -0.01",
13     "objects": [
14         {
15             "type": "a-sphere",
16             "position": "4 1 20",
17             "color": "#FF0000"
18         }
19     ]
}

```

Listing 4.2: Ejemplo de fichero de configuración

En este ejemplo se configura el escenario para que cargue el modelo del *drone*, con el tamaño indicado en *size*, la posición y rotación que aparece en *position* y *rotation*. En el valor *gravity* se indica que el escenario no tenga gravedad, se carga la textura que posee el campo *ground* como suelo del mundo y, por último, la posición de las cámaras es la ubicada en *secondaryCamera* y *cameraRobot*. Además, en *objects* se pueden añadir todos los objetos deseados a la escena. En este ejemplo se añade una pelota de color rojo en la posición que aparece en *position*.

4.3.2. Teleoperadores

Además de los modelos existentes del drone y *piBot*, se han creado otros nuevos para extender las posibilidades de la plataforma y poder teleoperar todos ellos.

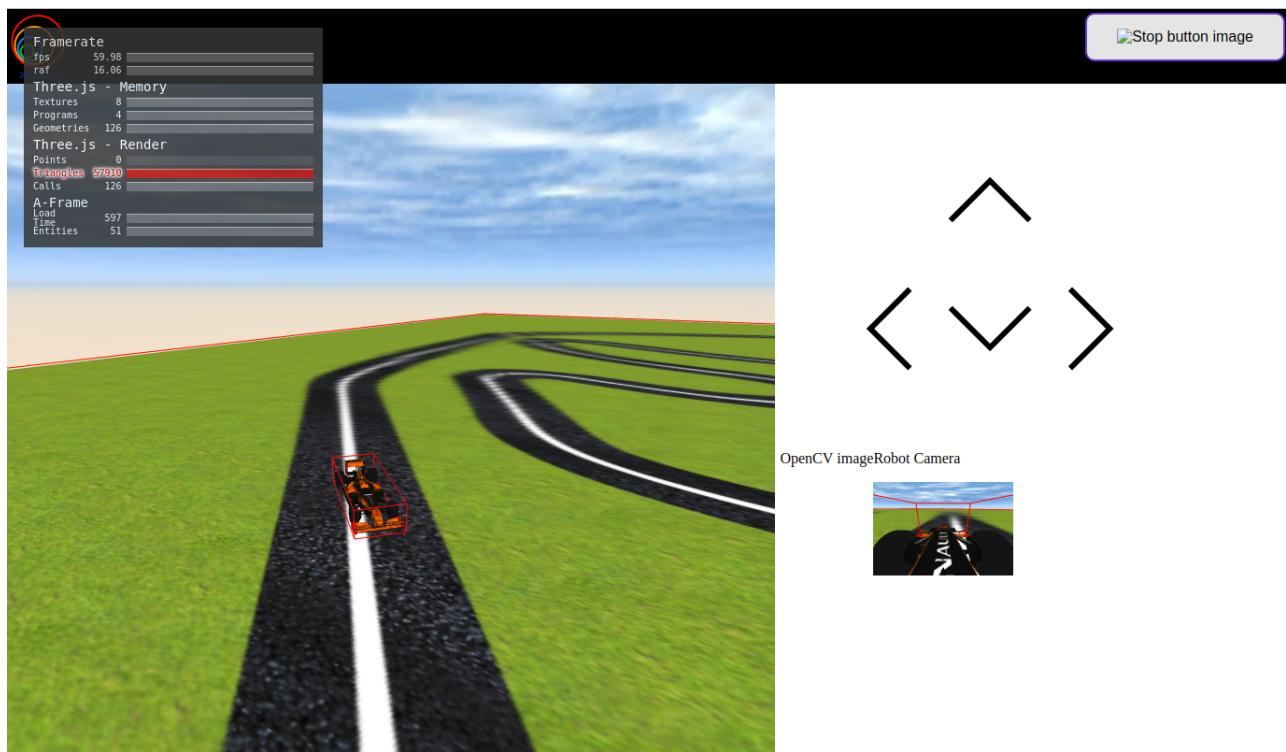


Figura 4.19: Teleoperador para el modelo del fórmula 1



Figura 4.20: Teleoperador para el modelo del piBot

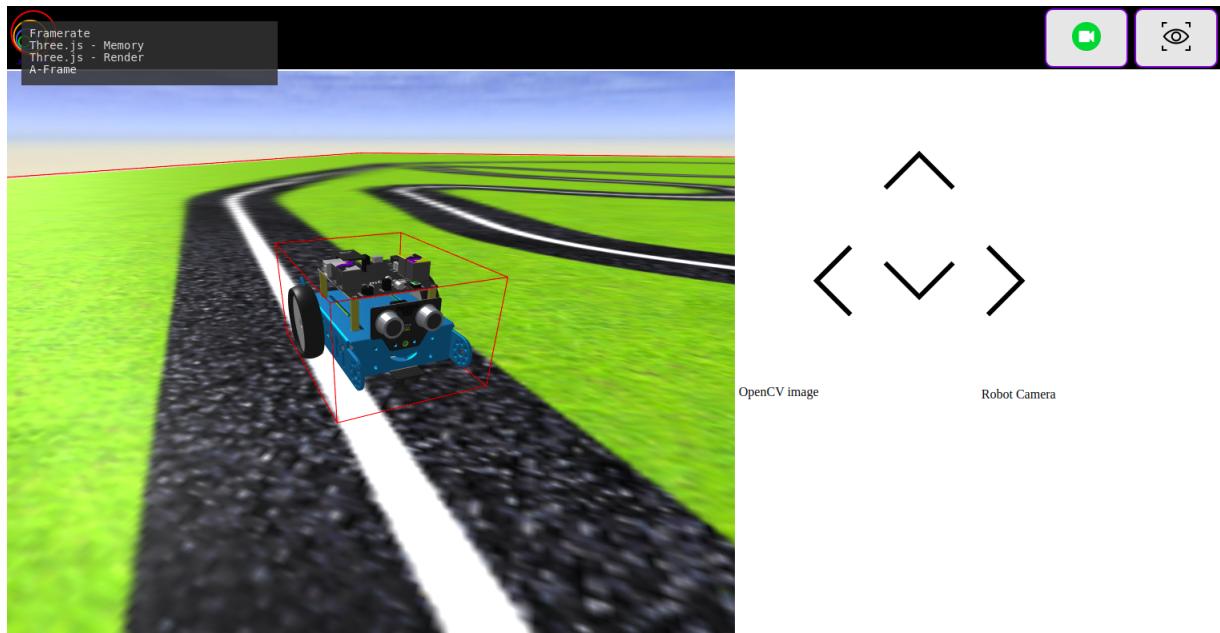


Figura 4.21: Teleoperador para el modelo del mBot

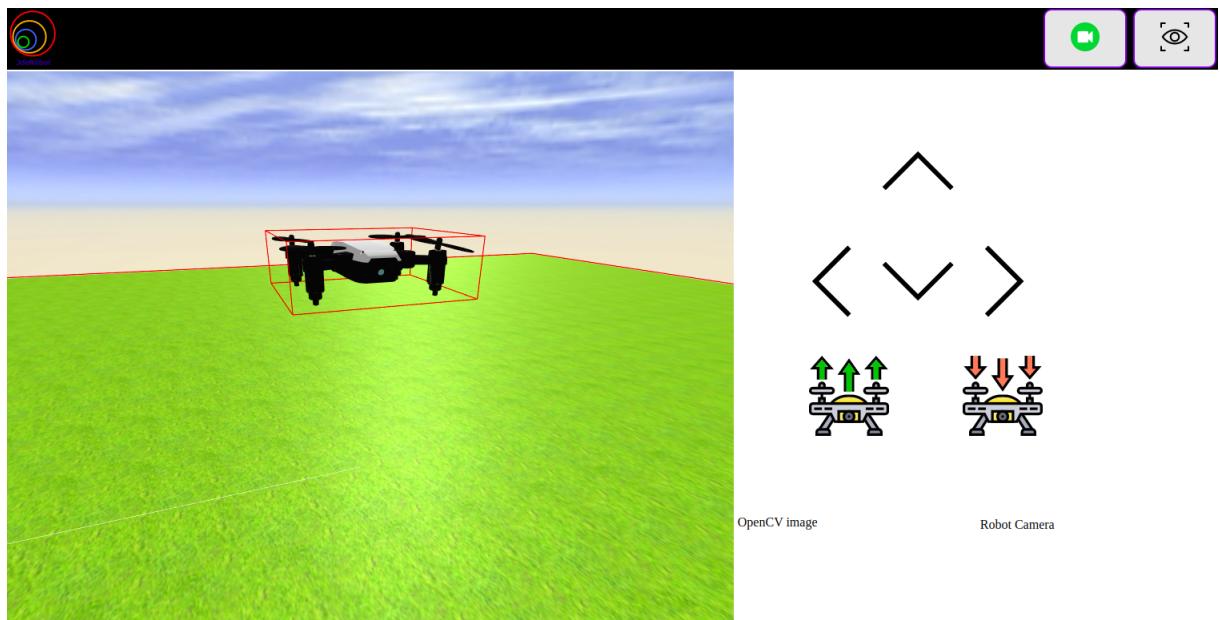


Figura 4.22: Teleoperador para el modelo del drone

Pudiendo controlar todos ellos con los botones que aparecen en la imagen o bien a través del teclado. Además, se ha creado una página principal para poder acceder a todos ellos a través de una interfaz gráfica:

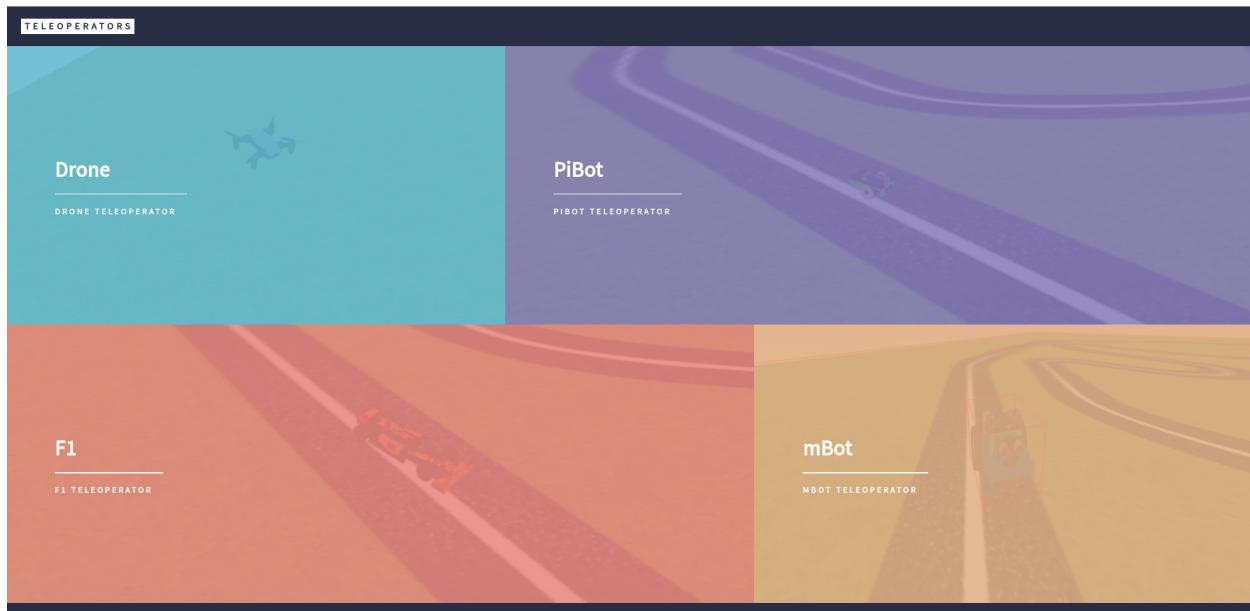


Figura 4.23: Interfaz que permite acceder a cada uno de los teleoperadores

4.4. Ejercicios competitivos

Uno de los objetivos de este proyecto era añadir ejercicios competitivos. Se hace especial mención a ellos debido a que son completamente diferentes al resto de los ya creados. Este tipo de ejercicios aumenta el valor de la plataforma ya que da la posibilidad de programar dos robots en el mismo escenario, pudiendo entender la programación como un juego en el que se premia al que aporte la mejor solución.

En este tipo de ejercicios hay dos robots en una misma escena donde cada uno de ellos se puede programar con un código distinto. Para facilitar la integración con el resto de la plataforma se han incorporado dos aplicaciones más a *WebSim*: ejercicios competitivos en *Scratch* y ejercicios competitivos en *JavaScript*.

Se ha comenzado creando la aplicación llamada *competitive-JavaScript* debido a la facilidad para probar código y hacer pruebas en el entorno. Para ello se ha cambiado la interfaz del editor, añadiendo botones para cada uno de los robots (figura 4.24) y añadir funcionalidad a cada botón para guardar el código de cada robot o mostrar el código en caso de tener uno guardado.

La aplicación *competitive-Scratch* se ha realizado de la misma manera, con la diferencia de que, en este caso, es necesario guardar el código de los bloques en *XML* y su traducción en *JavaScript*. Para realizarlo de forma limpia se ha creado un objeto que contiene un *boolean* y

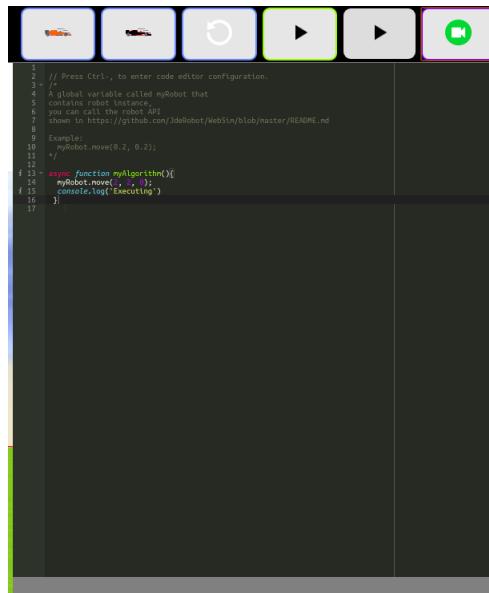


Figura 4.24: Editor de *JavaScript* para ejercicios competitivos

dos cadenas de texto. En el *boolean* se indica el código de qué *robot* se está editando, en una cadena de texto se guarda el código *XML* y en la otra su traducción en *JavaScript*. Se puede ver la interfaz de este editor en la figura 4.25.



Figura 4.25: Editor de *Scratch* para ejercicios competitivos

Para puntuar el comportamiento de los robots de manera justa, se han incluido en estos ejercicios evaluadores automáticos. Van a tener diferentes comportamientos en cada ejercicio, por lo que se han desarrollado de tal forma que se pueda cargar un evaluador distinto para

cada uno o, incluso, no cargar ninguno.

Para su implementación se ha creado la función *runEvaluator*, que acepta como parámetro un *array* con los identificadores de los robots y el archivo del evaluador deseado. Este fichero se recoge como variable en el *index.html* del editor correspondiente (de forma similar a los archivos de configuración). Para llamar a *runEvaluator* se comprueba que se haya pasado un fichero en el *index.html* y, si eso ocurre, se realiza un *require* de ese fichero y se ejecuta la función principal del evaluador, *evaluator.main()*. Esta se encarga de llamar a las funciones necesarias para que el evaluador sea completo: crea la interfaz gráfica y la lógica necesaria para su correcto funcionamiento.

A continuación se explican los ejercicios y evaluadores para cada uno de ellos.

4.4.1. Atraviesa-bosque competitivo

Para este ejercicio se usa el escenario de la imagen 4.16. Se ha creado un evaluador en el que se crea una barra de progreso para cada robot y un cronómetro. Cuando se empiezan a mover los robots la barra de progreso se va completando y el cronómetro se inicia, para comprobar el porcentaje completado solo hay que obtener la posición del robot y compararla con el punto de llegada.

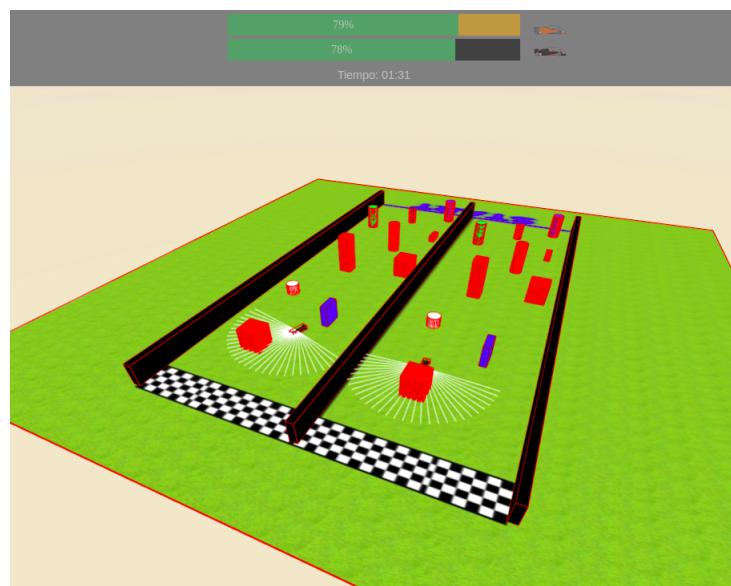


Figura 4.26: Evaluador para el ejercicio atravesia-bosque

4.4.2. Sigue-líneas competitivo

Para este ejercicio se usa el escenario de la figura 4.17 y su evaluador es similar al de atravesia-bosque, con la diferencia de que es necesario guardar en todo momento la posición y distancia recorrida por cada robot para calcular el porcentaje del circuito completado.

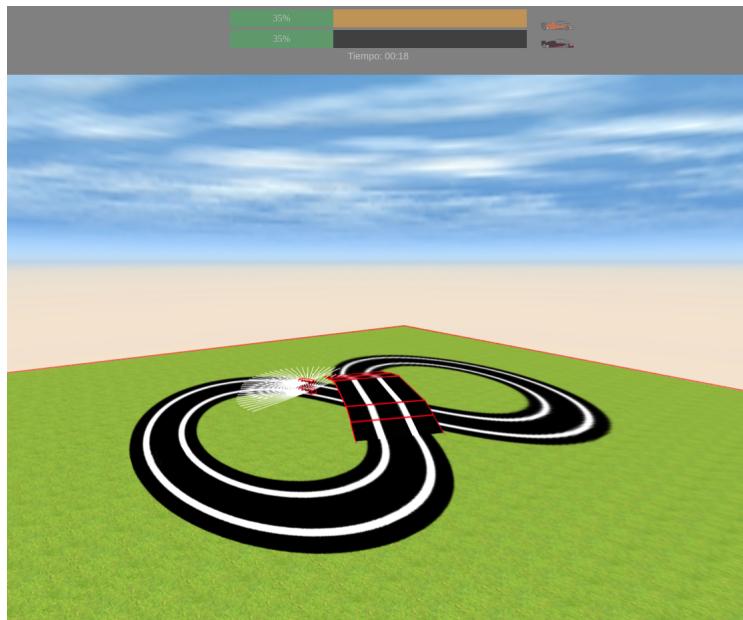


Figura 4.27: Evaluador sigue-líneas

4.4.3. Gato-ratón

Con la nueva estructura de *WebSim* se permite realizar el ejercicio gato-ratón con *drones*. Se trata de otro tipo en el que no se compite con dos códigos programados por distintos usuarios, si no que un *drone* ya está programado y el usuario solo tiene que desarrollar su solución para que el *robot* no se aleje del objetivo. Para ello ha sido necesario crear un modelo al que se le ha pintado de color rojo para que sea más sencillo su filtrado. Se puede ver el nuevo modelo de *drone* en la figura 4.28.

Para el evaluador de este ejercicio se crea un gráfico con ayuda de una librería externa de *JavaScript* (*JavaScript Graphics Library*³) que muestra la distancia entre *drones* y el tiempo que lleva de ejecución. Se puede ver este evaluador en la figura 4.29.

³<http://www.jsgl.org/>

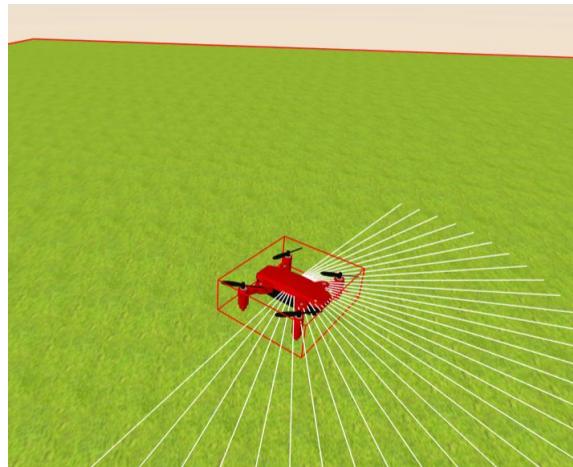


Figura 4.28: Nuevo modelo de drone para ejercicio gato-ratón

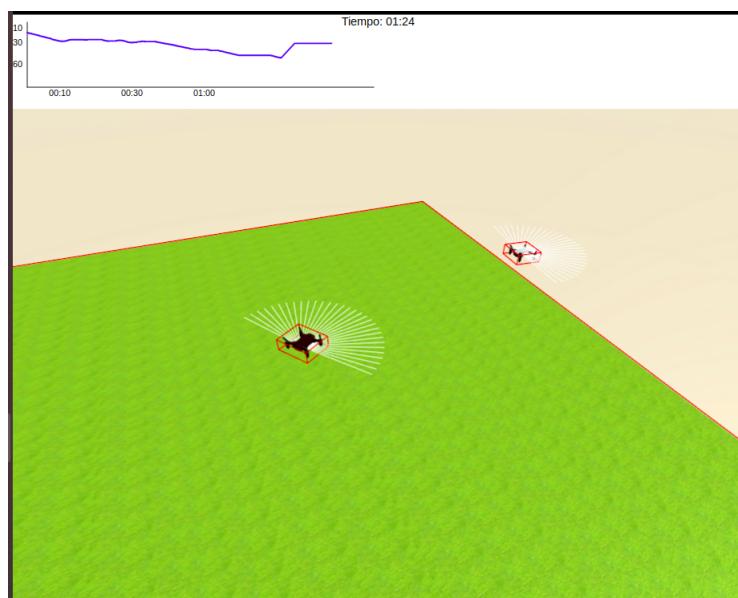


Figura 4.29: Evaluador para ejercicio gato-ratón

Capítulo 5

Conclusiones

Tras detallar las mejoras aportadas a *WebSim*, en este capítulo se recopilan los objetivos alcanzados, se valoran los conocimientos adquiridos y se exponen las posibles líneas de mejora y extensión de la plataforma.

5.1. Conclusiones

Repasando los objetivos fijados en el capítulo 2 se puede concluir que se han conseguido llevar a cabo todos los puntos establecidos.

El primer objetivo consistía en añadir soporte a *drone* en *WebSim*. En la sección 4.1 se explica como se ha llevado a cabo aportando el modelo en 3D, *drivers* y bloques para las nuevas funciones.

El segundo objetivo era incluir más ejercicios a *WebSim*. Los nuevos escenarios se han explicado en la sección 4.2 y otorga a la plataforma el poder realizar nuevos ejercicios como *choca-gira* (subsección 4.2.3), *sigue-pelota* (subsecciones 4.2.4 y 4.2.6) y *atraviesa-bosque* (subsección 4.2.5).

El tercer objetivo consistía en añadir teleoperadores, que se explica en la sección 4.3 y, además, se han creado archivos de configuración para poder cambiar de escenario y facilitar así su integración en servidor. En esta sección también se muestran los nuevos modelos creados (Fórmula 1 y mBot).

El último objetivo, ejercicios competitivos, se ha llevado a cabo en la sección 4.4. Se han incorporado dos robots a este tipo de ejercicios (a excepción del ejercicio gato-ratón) incluyendo un nuevo modelo de Fórmula 1 y de *drone* e incorporando un evaluador automático por cada ejercicio. Estos evaluadores pueden acceder a todos los sensores de los robots, pero se han desarrollado para que accedan a su posición y muestren el porcentaje recorrido del circuito (en los ejercicios sigue-líneas o atraviesa-bosque) o la distancia con otro *robot* (en el ejercicio gato-ratón).

Además, en el desarrollo de este proyecto, se ha llevado a cabo una refactorización de *WebSim* actualizando así la aplicación a la versión *WebSim 2.0*. En esta versión se separan los hilos de *HAL API*, simulador y editor dando la posibilidad de crear más de un robot en la misma escena, cambiar el código del robot en la simulación o, incluso, parar la simulación y reanudarla después con un código distinto. Se ha formado parte de ella con elementos como *brains*, que ejecuta la inteligencia de los *robots* que haya en el mundo; refactorizando los editores disponibles (editor *JavaScript*, editor *Scratch*, editor competitivo *JavaScript*, editor competitivo *Scratch* y teleoperadores) para su correcto funcionamiento o realizando pruebas y ajustes para optimizar el rendimiento de la aplicación.

5.2. Mejoras futuras

Como mejoras futuras se pueden contemplar las siguientes:

- Añadir nuevos modelos de *robots* como la aspiradora *Roomba* o un *robot* con pinzas.
- Añadir más escenarios y ejercicios a la plataforma, por ejemplo aparcamiento automático o uno basado en coger objetos del entorno.
- Explorar el uso de *WebWorkers* para optimizar el rendimiento de *WebSim*.
- Establecer un control en posición modificando la arquitectura de cómputo.

Bibliografía

- [1] *Historia de la robótica:* <https://www.monografias.com/trabajos107/evolucion-robotica/evolucion-robotica.shtml>
- [2] *Tipos de robots:* <https://www.lifeder.com/los-6-tipos-robots-principales/>
- [3] *Entornos de Programación Visual para Programación Orientada a Objetos: Aceptación y Efectos en la Motivación de los Estudiantes.* Felipe I. Anfarrutia, Ainhoa Álvarez, Mikel Larrañaga, Juan-Miguel López-Gil. 2017.
- [4] *Documentación JavaScript:* <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>
- [5] *Introducción JavaScript:* <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript/Guide/Introducción>
- [6] *Documentación A-Frame:* <https://aframe.io/>
- [7] *Físicas en A-Frame:* <https://github.com/donmccurdy/aframe-physics-system>
- [8] *Animaciones en A-Frame:* <https://blog.prototypypr.io/learning-a-frame-how-to-do-animations-2aac1ae461da>
- [9] *A-Frame extras:* <https://github.com/donmccurdy/aframe-extras/tree/master/src/loaders>
- [10] *Documentación Blockly:* <https://developers.google.com/blockly>
- [11] *Desarrollo web:* <https://www.w3schools.com/>

- [12] *Documentación Blender*: <https://docs.blender.org/manual>
- [13] *Información sobre Blender*: <https://www.desarrollolibre.net/blog/blender/que-es-blender>
- [14] *Manual de modelado y animación con Blender*. Pablo Suau. Universidad de Alicante. 2011.
- [15] *Información sobre glTF*: <https://www.khronos.org/gltf/>