



Universidad
Rey Juan Carlos

GRADO EN INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

Curso Académico 2021/2022

Trabajo Fin de Grado

GAMIFICACIÓN DE PLATAFORMA UNIBOTICS

Autor : Daniel Hervás Rodao

Tutor : José María Cañas Plaza

Co-Tutor : David Roldán Álvarez

Trabajo Fin de Grado

Gamificación de la Plataforma Unibotics

Autor : Daniel Hervás Rodao

Tutor : José María Cañas Plaza **Co-Tutor :** David Roldán Álvarez

La defensa del presente Proyecto Fin de Carrera se realizó el día de
de 202X, siendo calificada por el siguiente tribunal:

Presidente:

Secretario:

Vocal:

y habiendo obtenido la siguiente calificación:

Calificación:

Fuenlabrada, a de de 202X

*Dedicado a
mi familia / mi abuelo / mi abuela*

Agradecimientos

Aquí vienen los agradecimientos... Aunque está bien acordarse de la pareja, no hay que olvidarse de dar las gracias a tu madre, que aunque a veces no lo parezca disfrutará tanto de tus logros como tú... Además, la pareja quizás no sea para siempre, pero tu madre sí.

Resumen

Aquí viene un resumen del proyecto. Ha de constar de tres o cuatro párrafos, donde se presente de manera clara y concisa de qué va el proyecto. Han de quedar respondidas las siguientes preguntas:

- ¿De qué va este proyecto? ¿Cuál es su objetivo principal?
- ¿Cómo se ha realizado? ¿Qué tecnologías están involucradas?
- ¿En qué contexto se ha realizado el proyecto? ¿Es un proyecto dentro de un marco general?

Lo mejor es escribir el resumen al final.

Summary

Here comes a translation of the “Resumen” into English. Please, double check it for correct grammar and spelling. As it is the translation of the “Resumen”, which is supposed to be written at the end, this as well should be filled out just before submitting.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Robótica	1
1.2. Componentes robóticas	3
1.2.1. Middlewares robóticos	4
1.2.2. Simuladores robóticos	4
1.3. Robótica educativa	5
2. Objetivos	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos	7
2.3. Planificación temporal	7
2.4. Control de versiones	7
3. Herramientas	9
3.1. Lenguaje JavaScript	9
3.1.1. Características del lenguaje	10
3.1.2. Librería jQuery	10
3.2. Lenguaje HTML	11
3.3. Hojas de estilo CSS	12
3.4. Django para servidores web	13
3.5. WebRTC	14
3.5.1. Protocolos	15
3.5.2. Establecimiento de la conexión	16
3.5.3. Candidatos ICE	18

4. Juegos Asíncronos	19
4.1. Infraestructura	19
4.2. Follow Line Game	21
4.2.1. Diseño	21
4.2.2. Modo teleoperado	25
4.2.3. Evaluador automático	27
4.2.4. Carga de código	28
4.3. Drone Cat Mouse Game	29
4.3.1. Diseño	29
5. Juegos Síncronos	31
5.1. Follow Line Game Síncrono	31
6. Experimentos y validación	33
7. Resultados	35
8. Conclusiones	37
8.1. Consecución de objetivos	37
8.2. Aplicación de lo aprendido	37
8.3. Lecciones aprendidas	38
8.4. Trabajos futuros	38
A. Manual de usuario	39
Bibliografía	41

Índice de figuras

1.1. Brazo robótico.	2
1.2. Coche autónomo.	2
1.3. Robot DaVinci.	3
1.4. Robot ATRIAS.	3
1.5. Robot militar.	3
1.6. Simulador Gazebo.	5
3.1. Documento básico de <i>HTML</i>	11
3.2. Comparativa entre no usar CSS y usarlo.	13
3.3. Protocolo STUN.	16
3.4. Protocolo TURN.	16
3.5. Diagrama de intercambio de candidatos ICE.	18
4.1. Arquitectura de Unibotics.	20
4.2. Barra conexión con RADI.	21
4.3. Barra de control de la simulación.	21
4.4. Plantilla del juego Follow Line.	22
4.5. Selector de circuitos.	24
4.6. Cambio de circuito.	25
4.7. Selector de dificultad.	25
4.8. Teleoperación apagada.	26
4.9. Teleoperación encendida.	26
4.10. Listener del botón de teleoperación.	26
4.11. Key Handler.	27

4.12. Evaluador automático.	28
4.13. Plantilla Drone Cat Mouse.	29

Capítulo 1

Introducción

El TFG que será descrito a continuación se ha desarrollado en la plataforma *Unibotics* de la asociación *JdeRobot*¹, orientado al aprendizaje de robótica para estudiantes universitarios. El principal motivo de este proyecto es la introducción de técnicas de gamificación para los diferentes ejercicios contenidos la plataforma, así como añadir nuevos.

En este capítulo introductorio se introducirá el contexto en el que se desarrolla el trabajo, así como los motivos que han motivado a llevarlo a cabo.

El campo de la robótica es muy amplio, en concreto, este TFG se encuentra en el marco de la robótica educativa, destinada a la enzeñanza de la misma.

1.1. Robótica

Los avances en computación de las últimas décadas han sido el impulso que ha permitido la creación de máquinas muy cercanas al ideal de autonomía que se ha perseguido siempre. La robótica está muy relacionada no solo con la rama de la ingeniería, si no, que involucra conocimientos de matemáticas y física para el desarrollos de máquinas autónomas. Uno de los objetivos principales de la robótica es el de facilitar tareas de la vida diaria al ser humano, incluso, en algunas ocasiones, sustituir al ser humano.

La inteligencia artificial, también está muy ligada al campo de la robótica. Los avances en este campo permiten desarrollar sistemas capaces de tener una cierta memoria útil para realizar una serie de funciones.

¹<https://jderobot.github.io>

En 1950 la robótica experimenta un gran desarrollo. Esto se debe a los grandes avances en relación a la potencia y complejidad computacional. El acoplamiento mecánico empezó a sustituirse por sistemas eléctricos. Tal es el grado de desarrollo que se empiezan a generar sistemas de control automático consistentes en máquinas de estado secuencial.

Un claro ejemplo de este gran impluso es la implementación de robots en la industria automovilística, capaces de realizar tareas repetitivas, y que conllevan un gran riesgo para las personas (Figura 1.1).



Figura 1.1: Brazo robótico.

En la actualidad, cada vez son más populares los coches autónomos. Es un campo muy amplio que cuenta con un gran número de posibilidades. Algunas de estas posibilidades serían los coches con conducción autónoma de *Tesla* (Figura 1.2) o los coches con aparcamiento autónomo que están desarrollando un gran número de compañías en la actualidad.



Figura 1.2: Coche autónomo.

Otro campo de la aplicación de la robótica es la medicina, donde existen robots capaces de filtrar las vibraciones naturales del humano para proporcionarle una gran precisión y seguridad, un claro ejemplo es el robot *DaVinci* (Figura 1.3). Adicionalmente, hay robots capaces de man-

tener una estabilidad la estabilidad necesaria para caminar sobre dos piernas robóticas, como es el robot ATRIAS (Figura 1.4).



Figura 1.3: Robot DaVinci.

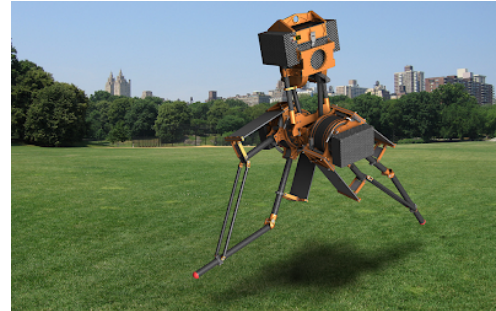


Figura 1.4: Robot ATRIAS.

En el ámbito militar, existen robots capaces de sustituir a una persona en el a la hora de realizar tareas de gran peligro como la desactivación de bombas y la entrada en zonas contaminadas (Figura 1.5).



Figura 1.5: Robot militar.

1.2. Componentes robóticas

Todo robot está formado por dos componentes: el *software*, encargado de proporcionar la inteligencia al robot, el más importante, y, el *hardware* encargado de proporcionar la estructura física del robot.

Con al gran auge de la robótica han surgido numerosas plataformas que proporcionan herramientas que simplifican el desarrollo de software robótico, esto son los denominados *midd-*

middlewares robóticos.

Durante el desarrollo de software robótico es preciso realizar una serie de pruebas para comprobar el funcionamiento del código y depurar errores, por lo que se necesitan simuladores que nos proporcionen un entorno cercano a la realidad previa al ensamblado del robot.

1.2.1. Middlewares robóticos

Un *middleware* robótico es un *framework* que proporciona una serie de herramientas que facilitan el desarrollo de software para robots. Proporciona los servicios necesarios para soportar y simplificar aplicaciones complejas y distribuidas. Para el control de los sensores y actuadores de los robots, los *middlewares* proporcionan *drivers*, APIs, etc.

El *middleware* robótico más generalizado es ROS² (*Robotics Operating System*). *Robotics Operating System* fue desarrollado en 2007 por el Laboratorio de Inteligencia Artificial de Stanford para dar soporte a sus proyectos. A pesar de no ser un sistema operativo, ROS proporciona tales servicios como la abstracción *hardware*, mecanismos de comunicación entre procesos, el control de dispositivos de bajo nivel y el mantenimiento de paquetes. *Robotics Operating System* fue desarrollado para sistemas UNIX, aunque en la actualidad está siendo adaptado para su funcionamiento en sistemas operativos como Fedora, Mac OS X, Arch, Gentoo, OpenSUSE, Slackware, Debian o Microsoft Windows.

1.2.2. Simuladores robóticos

El surgimiento de estos *softwares* robóticos está condicionado por la necesidad de realizar pruebas durante el desarrollo del *software* para la detección y depuración de posibles errores antes de llevarlo a un robot real debido al gran coste que suponen.

El simulador más generalizado en la actualidad es *Gazebo*³. Su popularidad se debe a su robusto motor de físicas, sus gráficos de alta calidad y su amplio catálogo de robots y escenarios. Es una herramienta de código abierto integrada con ROS, por lo que permite ejecutar *software* robótico en un escenario simulado (Figura 1.6).

²<https://www.ros.org/>

³<http://gazebo-sim.org/>

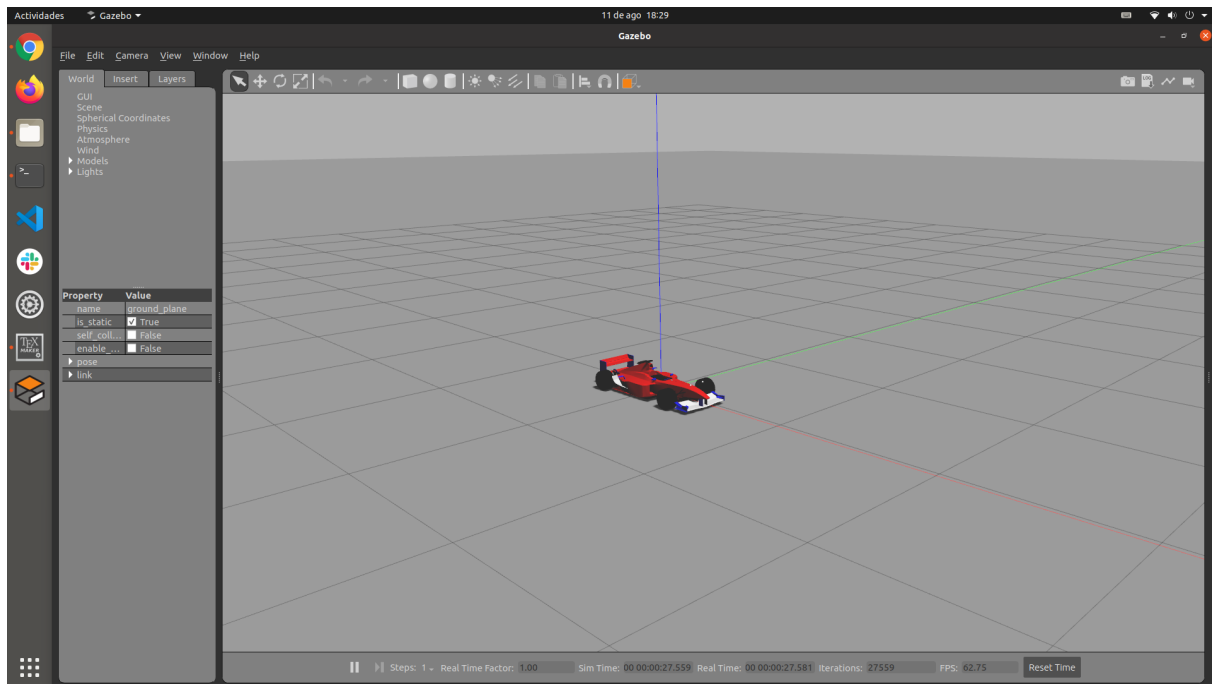


Figura 1.6: Simulador Gazebo.

1.3. Robótica educativa

La robótica educativa proporciona a los estudiantes la infraestructura para la construcción y programación de un robot, pero, además de la enseñanza robótica, estos entornos van más allá, ofreciendo la capacidad para el alumno de adquirir un pensamiento lógico. También, contribuye en la adquisición de una mentalidad resolutoria y al enriquecimiento de la cultura científica de los alumnos. Este método de educación con la robótica como objeto de enseñanza se denomina el método STEAM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

Como se ha comentado, para llevar a cabo este método de educación es necesaria una infraestructura, como puede ser LEGO Mindstorms, un kit de robótica que es capaz de aumentar la capacidad de pensamiento de los alumnos.

Dentro de la robótica educativa, es preciso enfatizar la plataforma *Unibotics* en la que se desarrolla el presente proyecto. Esta plataforma es un proyecto internacional que ofrece material para la enseñanza de robótica en las aulas. *Unibotics* proporciona una infraestructura software en conjunto a una colección de ejercicios, cada uno con el material teórico correspondiente para su resolución.

Capítulo 2

Objetivos

- 2.1. Objetivo general**
- 2.2. Objetivos específicos**
- 2.3. Planificación temporal**
- 2.4. Control de versiones**

Capítulo 3

Herramientas

En este capítulo se hará una breve presentación de todas las herramientas empleadas para el desarrollo del presente TFG. Estas tecnologías se pueden englobar en dos grupos, las tecnologías Front-End dedicadas a la presentación y a la interfaz de usuario (JavaScript, HTML y CSS), tecnologías Back-End dedicadas al servidor (Django), y, por último, tecnologías WebRTC que serán las encargadas de transmitir el vídeo en los juegos síncronos.

3.1. Lenguaje JavaScript

Se trata de un lenguaje de programación interpretado, su estándar es *ECMAScript*¹, basado en *Java* y *C*. Fue creado para aplicaciones web del lado del cliente. Es interpretado en el navegador web y permite mejoras en la interfaz de usuario, además de páginas web dinámicas. También puede usarse en el lado del servidor utilizando *Node.js*, un entorno de ejecución de JavaScript construido con el motor *JavaScript V8*.

En este proyecto se ha empleado JavaScript en el lado del cliente. La lógica de las plantillas que usan los ejercicios ha sido programada usando *ECMAScript-6*, así como los evaluadores automáticos de los mismos, y, adicionalmente, para los *WebSockets* encargados de comunicarse con el servidor para realizar tareas de señalización, o de envío de mensajes. Sus principales características son:

¹Especificación de lenguaje de programación que define un lenguaje de tipos dinámicos y soporta programación orientada a objetos basada en prototipos.

3.1.1. Características del lenguaje

- Se trata de un lenguaje del lado del cliente, es decir, ejecuta en la máquina del propio cliente a través de un navegador.
- Tipado débil, por lo que no es necesario especificar el tipo de dato al declarar una variable permitiendo que una misma variable pueda adquirir distintos tipos durante la ejecución.
- De alto nivel, con lo que significa que su sintaxis es fácilmente comprensible. Esta sintaxis se encuentra alejada del lenguaje máquina.
- Es un lenguaje interpretado puesto que utiliza un intérprete que traduce las líneas de código a lenguaje máquina en tiempo de ejecución.
- Es un lenguaje orientado a objetos, ya que utiliza clases y objetos como estructuras.

Adicionalmente, junto con *ES-6* se ha empleado una librería llamada *jQuery*² que permite agregar dinamismo a un sitio web permitiendo interactuar con los elementos HTML, manipular el DOM, manejar eventos, diseñar animaciones y agregar interacción con la técnica *AJAX*³ (*Asynchronous JavaScript and XML*).

3.1.2. Librería jQuery

jQuery es una librería multiplataforma desarrollada en JavaScript, inicialmente desarrollada por John Resig. Esta librería permite simplificar en gran medida la interacción con los documentos HTML y sus estilos, manipular el DOM, manejar eventos, crear animaciones, y agregar la integración de la técnica *AJAX* (*Asynchronous JavaScript and XML*).

En código, el constructor de jQuery puede llamarse empleando el nombre *jQuery*, o, también empleando el alias *\$*.

Esta librería hace posible a desarrolladores que se inician en el mundo del desarrollo de interfaces de aplicación, puedan desarrollar una interfaz gráfica más elaborada sin la necesidad de tener amplios conocimientos de CSS.

²<https://jquery.com/>

³<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/Guide/AJAX>

3.2. Lenguaje HTML

HTML (HyperText Markup Language) es un lenguaje de marcado que permite indicar la estructura un documento utilizando etiquetas. Es utilizado para la creación de documentos electrónicos que se envían a través de la red. Los documentos pueden tener conexiones con otros a través de *hipervínculos*.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Hola mundo!</title>
  </head>
  <body>
    <p>Hola mundo!</p>
  </body>
</html>
```

Figura 3.1: Documento básico de *HTML*.

Primeramente se debe declarar el tipo del documento *HTML* mediante la línea *DOCTYPE html* que indica que es un documento *HTML-5*. El elemento *html* engloba el documento *HTML*, dentro de este elemento se encuentran dos etiquetas:

- *HEAD* es la cabecera del documento, que contiene la información general (metadatos) acerca del documento, incluyendo el título y los enlaces a scripts y hojas de estilos.
- *BODY* es el cuerpo del documento *HTML* donde se encuentran las etiquetas que dan formato al mismo. Puede contener imágenes, enlaces, vídeos, menús, formularios, botones, además de animaciones, que se pueden crear dentro de un elemento *canvas*.

Con la incorporación de *HTML-5* se han introducido diversas novedades y mejoras que son de interés para este trabajo:

- *WebSockets*, es una tecnología que hace posible abrir una comunicación entre el navegador y el servidor.

- *WebRTC (Web Real-Time Communications)* es una tecnología que permite a las aplicaciones web capturar y transmitir audio y vídeo entre navegadores sin necesidad de un intermediario.
- Se añade un mejor soporte de contenido multimedia sin la necesidad de instalar plugins adicionales. Mediante el elemento *video* la página reproducirá de manera nativa el contenido.
- Proporciona un elemento, *canvas* que permite renderizar escenas gráficas en la web mediante el uso de *JavaScript*.

3.3. Hojas de estilo CSS

CSS o *Cascading Stylesheet* es un lenguaje empleado para dar formato y estilo a un documento de texto, comunmente, las instrucciones se agrupan en archivos con extensión **.css*, lo que permite que para una página web se puedan almacenar estilos por separados dependiendo del fin de cada uno, de esta manera, se podrán importar en cada documento únicamente las instrucciones de las que se va a hacer uso.

Con respecto a lo último mencionado, puesto que estas hojas almacenan el estilo, CSS nos ofrece una gran ventaja, la separación de la estructura del documento (HTML) de su representación. Aunque es posible añadir instrucciones CSS en el *head* de un documento HTML mediante la etiqueta *style*, esto no es una buena práctica.

Cascading Stylesheet nos permite utilizar *JavaScript* para si fin principal, el de dar dinamismo e inteligencia a una página web, etc. Por lo que mejora en gran manera el rendimiento de la página.

A continuación se muestra un ejemplo del uso de este lenguaje.



Figura 3.2: Comparativa entre no usar CSS y usarlo.

Como se puede apreciar en la imagen 3.2, hay un gran salto de no usar CSS a usarlo en los documentos HTML. Este lenguaje nos permite tanto crear un *Navbar*, menús desplegables, barras de búsqueda, botones personalizados, sub-apartados, es decir, aumenta en gran medida la experiencia del usuario.

CSS también permite la creación de páginas web responsivas, esto es, que la web se adapte al tamaño de la pantalla del usuario, redimensionando los elementos y recolocándolos. Esto es muy útil si se quiere desarrollar una aplicación multiplataforma.

3.4. Django para servidores web

Django ⁴ [3] es un framework de alto nivel que facilita el desarrollo de sitios web seguros y sostenibles. Fue lanzado como un framework web genérico en 2005, bajo una licencia de código abierto. Django se encarga de las complicaciones del desarrollo web, para que el usuario pueda centrarse en escribir su aplicación.

El objetivo de Django es la creación sencilla de sitios web complejos, poniendo énfasis en la reutilización, la conectividad y la extensibilidad de componentes, el desarrollo rápido y el principio de no repetir código (*Don't Repeat Yourself*).

Algunas de las características de Django son:

- Un mapeador objeto-relacional, es capaz de convertir datos entre un sistema de tipos utilizado en un lenguaje de programación orientado a objetos y la utilización de una base de datos relacional.
- Aplicaciones incorporables en cualquier página gestionada con Django.

⁴[https://es.wikipedia.org/wiki/Django_\(framework\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Django_(framework))

- Una API de base de datos robusta.
- Un sistema incorporado de "vistas genéricas" que ahorra el tener que escribir la lógica de ciertas tareas comunes.
- Un sistema extensible de plantillas con herencia.
- Un despachador de URLs basado en expresiones regulares.
- Un sistema *middleware* para desarrollar características adicionales.
- Soporte de internacionalización, incluyendo traducciones de la interfaz de administración.
- Documentación incorporada accesible a través de la aplicación administrativa.

3.5. WebRTC

WebRTC ⁵ [4] (Web Real-Time Communication) es un proyecto libre y de código abierto que proporciona una comunicación en tiempo real (RTC) a través de una serie de APIs. Permite que la comunicación de audio y vídeo funcione dentro de las páginas web al permitir la comunicación *Peer to Peer*, sin necesidad de instalación de plugins y sin necesidad de la intervención del servidor. WebRTC tiene soporte en los navegadores Safari, Chrome, Firefox, Mozilla y Opera, está estandarizado por el World Wide Web Consortium ⁶ y por el Internet Engineering Task Force ⁷.

El API de WebRTC tiene una serie de interfaces principales que son clave en el desarrollo del software para este proyecto:

- **RTCPeerConnection** ⁸ representa una conexión entre una máquina local y un par remoto. Esta interfaz provee métodos para: conectar un equipo remoto, mantener y monitorizar esa conexión y cerrar la conexión.

⁵<https://es.wikipedia.org/wiki/WebRTC>

⁶https://es.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web_Consortium

⁷https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_de_Trabajo_de_Ingenier%C3%ADa_de_Internet

⁸<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/API/RTCPeerConnection>

- **RTCDataChannel** ⁹ representa el canal que puede ser empleado para la transmisión de datos *Peer to Peer*.
- **MediaDevices** ¹⁰ proporciona el acceso a los dispositivos multimedia conectados, como webcams y micrófonos, y, también para compartir la pantalla. Ofrece un método *getUserMedia()*, que, con el permiso del usuario, enciende la cámara, obtiene la imagen de la pantalla, el audio del micrófono, y, proporciona un *MediaStream* que contiene pistas de vídeo y/o de audio del dispositivo.
- **MediaStream** ¹¹ representa el flujo de contenido multimedia. Un flujo consiste de varias pistas, ya sean de audio o de vídeo.

3.5.1. Protocolos

- **ICE** ¹² (*Interactive Connectivity Establishment*). Es una técnica empleada para permitir que un navegador web se conecte con otro/s navegador/es web mediante conexiones *Peer to Peer*. Debe de poder pasar por un *firewall*, dirección IP pública, y, transmitir los datos a través de otro servidor, si el *router* no permite las conexiones entre pares. Para lograr esta serie de casos, se emplean servidores STUN y TURN.
- **STUN** ¹³ (*Session Traversal Utilities for NAT*). Es un protocolo de descubrimiento de IP pública, para determinar cualquier restricción en el *enrutador* que impida una conexión directa con un par. El cliente enviará una solicitud STUN en Internet que responderá con la dirección pñublica del cliente y si el cliente esta accesible detrás del NAT del enrutador.
- **NAT** ¹⁴ (*Network Address Translation*). Es empleado por el *router* para asignar una dirección IP pública. El *router* tiene acceso a la dirección pública de cada dispositivo y cada dispositivo conectado a este, tendrá una dirección IP privada. Las solicitudes se traducen de la IP privada a la IP pública con un puerto único. Algunos *enrutadores* tienen restricciones sobre quien puede conectarse a su red. Esto puede dar lugar a que aunque

⁹<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/RTCDataChannel>

¹⁰<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/API/MediaDevices>

¹¹<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/MediaStream>

¹²https://en.wikipedia.org/wiki/Interactive_Connectivity_Establishment

¹³<https://en.wikipedia.org/wiki/STUN>

¹⁴<https://en.wikipedia.org/wiki/Nat>

tengamos un única dirección IP pública encontrada por el servidor STUN, no se pueda establecer una conexión. Ante este caso, se debe recurrir a un servidor TURN.

- **TURN**¹⁵ (*Transversal Using Relays around NAT*). Algunos router emplean una técnica llamada *NAT simétrica*. Esto es, el *enrutador* solo acepta conexiones de pares a los que se haya conectado previamente. TURN está destinado a aludir esta restricción de NAT simétrica. Consiste en establecer una conexión con un servidor TURN que retransmite todo el tráfico que se le envía, de una máquina a otra. Este intercambio es gestionado usando ICE.

El proceso de *Offer/Answer* es realizado cuando se establece una nueva conexión, o bien, cuando debe cambiar un aspecto de una conexión ya establecida. A continuación se enumeran los pasos que ocurren durante el intercambio de la oferta y la respuesta:

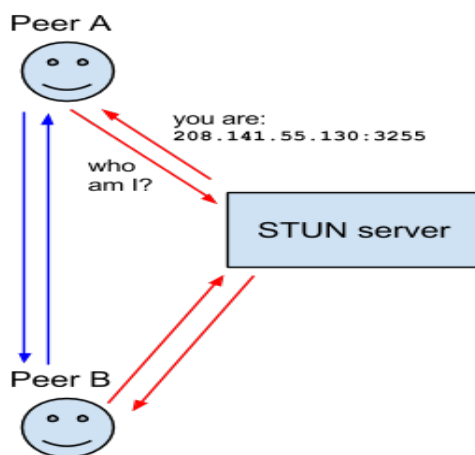


Figura 3.3: Protocolo STUN.

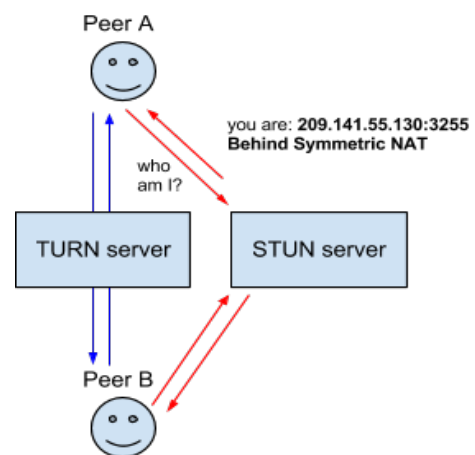


Figura 3.4: Protocolo TURN.

- **SDP** (*Session Description Protocol*)¹⁶. Es un protocolo empleado para describir el contenido multimedia de una conexión.

3.5.2. Establecimiento de la conexión

El protocolo WebRTC se encarga de establecer conexiones entre pares, pero desafortunadamente, una conexión WebRTC no se puede establecer sin un servidor intermedio. Este servidor

¹⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Traversal_Using_Relays_around_NAT

¹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Session_Description_Protocol

podríamos llamarlo **servidor de señalización**, empleado en el intercambio de información previo al establecimiento de la conexión WebRTC.

La información que necesitamos intercambiar es una *Offer* y una *Answer* que contienen el *Session Description Protocol* mencionado anteriormente en 3.5.1.

El *Peer A* que inicia la conexión va a crear una oferta (*Offer*). Esta *Offer* será enviada al *Peer B* mediante el servidor intermedio seleccionado. *Peer B* recibirá esta *Offer* desde el servidor de señalización y creará una respuesta (*Answer*) que enviará haciendo uso del mismo intermediario al *Peer A*.

1. *Peer A* captura los medios locales mediante *MediaDevices.getUserMedia*
2. *Peer A* crea una conexión *RTCPeerConnection* y emplea el método *RTCPeerConnection.addTrack()* para añadir el flujo de datos a la comunicación.
3. *Peer A* crea la *Offer* mediante el método *RTCPeerConnection.createOffer()*.
4. *Peer A* establece el SDP de su *Offer* llamando al método *RTCPeerConnection.setLocalDescription()*.
5. *Peer A* solicita al servidor STUN que genere los candidatos ICE.
6. *Peer A* usa el servidor de señalización para transmitir su *Offer*.
7. *Peer B* recibe la oferta y emplea *RTCPeerConnection.setRemoteDescription()* para almacenar el SDP de *Peer A*.
8. *Peer B* hace la configuración necesaria relativa a su conexión, como obtener su flujo de datos multimedia.
9. *Peer B* crea una respuesta haciendo uso del método *RTCPeerConnection.createAnswer()*.
10. *Peer B* establece su descripción local llamando a *RTCPeerConnection.setLocalDescription()* y pasando la respuesta por parámetro.
11. *Peer B* envía la respuesta usando el servidor de señalización.
12. *Peer A* recibe *Answer*.

13. *Peer A* almacena el SDP de *Peer B* llamando al método *RTCPeerConnection.setRemoteDescription()*. Ahora *Peer A* y *Peer B* tienen la configuración de ambos y el flujo de medios comienza a transmitirse.

3.5.3. Candidatos ICE

Además de intercambiarse la información sobre los elementos multimedia, los *peers* deben intercambiar información sobre la conexión. Esto es conocido como *candidatos ICE*, que detallan los métodos disponibles con los que un extremo puede comunicarse (directamente o mediante un servidor TURN). Cada *peer* propondrá una lista con sus mejores candidatos primero, estos candidatos son UDP (puesto que es más rápido, pues no hay retransmisiones, ni recuperación frente a pérdidas), aunque también permite emplear candidatos TCP. Esta comunicación es transparente para el usuario.

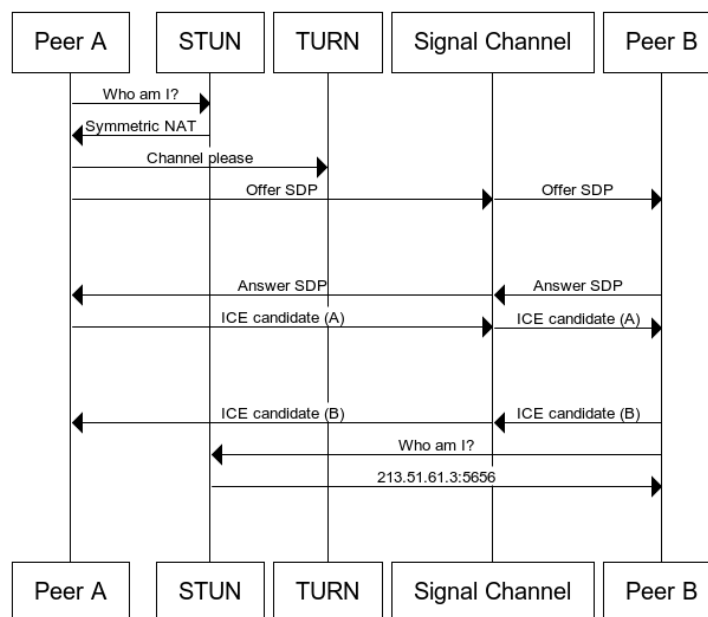


Figura 3.5: Diagrama de intercambio de candidatos ICE.

Capítulo 4

Juegos Asíncronos

En este capítulo se expondrán los *juegos asíncronos* desarrollados para la plataforma de *Unibotics*. Se han desarrollado un total de dos juegos asíncronos, de los que se hablará desde el diseño de las plantillas de la interfaz de usuario, hasta la comunicación con el servidor y el contenedor docker donde es ejecutado el juego. Para llevar a cabo el desarrollo de estos juegos, se ha partido de las versiones ya existentes dentro de la plataforma llamados *retos*.

4.1. Infraestructura

Para la realización de los siguientes ejercicios, trabajado sobre la infraestructura inicial sobre la que opera Unibotics. Esta arquitectura es formada por tres componentes, un *Webserver*, el *navegador* del usuario y el *RADI* (contenedor Docker donde se ejecutan los ejercicios). A continuación, una descripción del trabajo que realiza cada componente:

- **Webserver:** este componente se encarga de proporcionar al navegador del usuario, los componentes del *Front End* que van a ser necesarios para llevar a cabo la ejecución del ejercicio en cuestión. Proporciona las plantillas **HTML** y el código **JavaScript**. También se encarga de almacenar y traer el código del usuario desde **AWS** (*Amazon Web Services*¹), con el fin de tener una persistencia del código del mismo.
- **Navegador:** ejecuta en la máquina del usuario, es el encargado de comunicarse con el *RADI* y mostrar toda la información relacionada con la simulación al usuario. Este com-

¹https://es.wikipedia.org/wiki/Amazon_Web_Services

ponente muestra las plantillas de los ejercicios recibidas desde el Webserver al usuario. Mediante *listeners* (escritos en **JavaScript**) sobre distintos elementos de la plantilla proporciona los controles sobre la ejecución del ejercicio (Play, Reset, Load Code, Gazebo, etc.). Además de proporcionar los controles sobre el ejercicio, también debe de transmitir estas órdenes al contenedor donde se aloja el ejercicio, de manera que durante el establecimiento de la conexión con este, en el caso de los juegos con dos vehículos, se establecen cinco WebSockets. Estos son, un máster, por el que se envían los comandos relacionados con el lanzamiento del ejercicio y Gazebo, y un dos WebSockets por cada vehículo, el primero *ws_code*, empleado para el envío del código al contenedor, se encarga de interactuar con el cerebro del robot, y, por último, *ws_gui* cuya función es mostrar toda la información relativa a la interfaz de usuario (mapa al estilo f1, autoevaluador, imágenes de las cámaras), es decir, recibe toda la información del robot.

- **RADI:** es uno de los componentes con más peso, pues es donde se ejecuta la simulación. Este ofrece una serie de elementos, *ws_manager*, *ws_code* y *ws_gui* mencionados anteriormente, y adicionalmente, ofrece la visualización de Gazebo mediante *GZClient*² y de la consola del contenedor, ambos por medio de un servidor *noVNC*³ alojado localmente en el contenedor, al cual se conectará el navegador para mostrar dichos elementos.

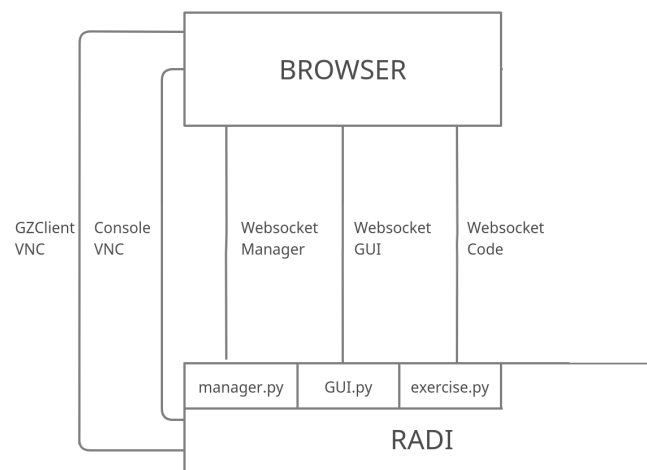


Figura 4.1: Arquitectura de Unibotics.

²<http://manpages.ubuntu.com/manpages/bionic/man1/gzclient.1.html>

³<https://novnc.com/info.html>

4.2. Follow Line Game

4.2.1. Diseño

Para desarrollar este ejercicio ha sido necesario implementar *software* en el lado del cliente especialmente. Se ha diseñado un interfaz de usuario que radica en la simplicidad para el usuario, sin proporcionar un exceso de controles. La plantilla de los ejercicios es común a la mayoría de los ejercicios de la plataforma, pero mediante JavaScript se acondiciona la plantilla a los requisitos del ejercicio. Todos los ejercicios tienen en común una barra en la parte superior que contiene una serie de botones para realizar la conexión con el contenedor Docker, que es donde se ejecutará todo lo relativo a la simulación del ejercicio.

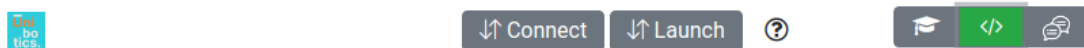


Figura 4.2: Barra conexión con RADI.

Volviendo a la parte específica para este ejercicio, tenemos una barra donde se encuentran los controles relativos al control de la simulación, visualización, carga de código e información adicional sobre la simulación.

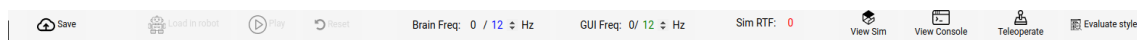


Figura 4.3: Barra de control de la simulación.

Bajo las barras de control del ejercicio, se tiene una pantalla que está dividida en dos secciones. La primera sección contiene el selector de circuito, el selector de dificultad y el editor de código. En la segunda sección se encuentra toda la información que se recibe del escenario, esto es, las localizaciones de los coches y sus cámaras, el evaluador automático, el simulador Gazebo y la consola del contenedor.

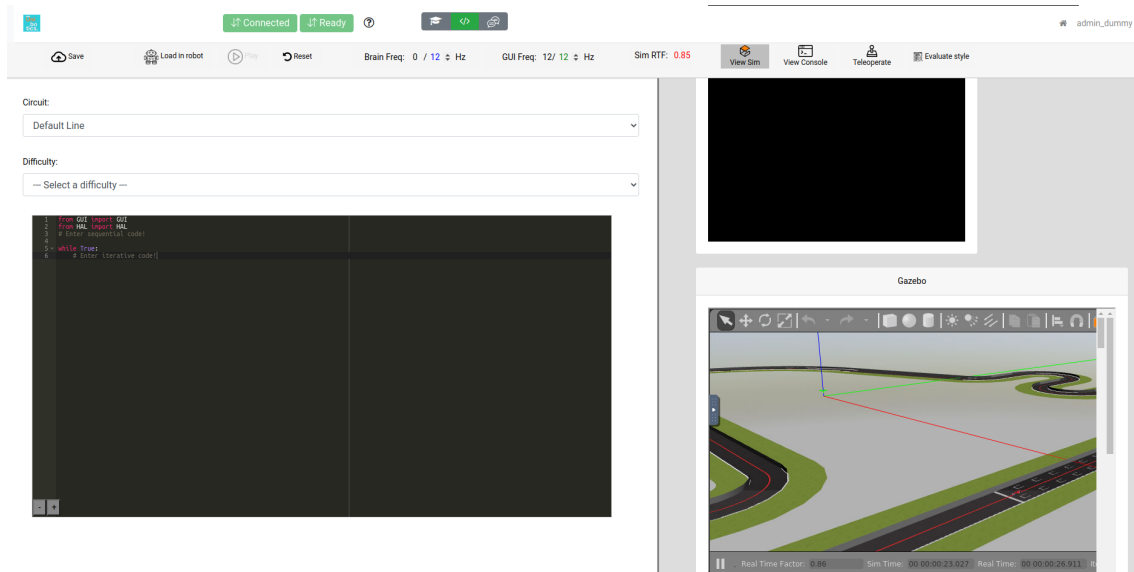


Figura 4.4: Plantilla del juego Follow Line.

Robot adversario

Ha sido necesario añadir un nuevo modelo de robot para que el usuario pueda diferenciar entre su robot y el adversario. Con lo que se ha modificado el modelo del robot del usuario cambiándolo de color a verde. Esta modificación se ha llevado a cabo mediante *Blender*⁴ y se ha llamado *fl_guest*.

Una vez creado el nuevo modelo, se ha añadido a los ficheros de declaración de los escenarios de Gazebo, incluyendo el nuevo modelo en una posición del circuito en la que ambos coches se encuentran a la misma distancia. Los ficheros empleados para la configuración del escenario tienen la siguiente forma:

```
<?xml version="1.0" ?>
<sdf version="1.5">
  <world name="default">
    <gui fullscreen=1></gui>
    <scene>
      <grid>false</grid>
      <sky>
        <clouds>
```

⁴<https://www.blender.org/>

```

        <speed>12</speed>
    </clouds>
</sky>
</scene>
<!-- A global light source -->
<include>
    <uri>model://sun</uri>
    <name>sun_1</name>
    <pose>0 0 1 0 0 0</pose>
</include>
<include>
    <uri>model://simple_circuit</uri>
    <pose>0 0 0 0 0 0</pose>
</include>
<include>
    <uri>model://f1</uri>
    <pose>53.462 -10.734 0.004 0 0 -1.57</pose>
</include>
<include>
    <uri>model://f1_guest</uri>
    <pose>-53.2 -6.8 0.004 0 0 -4.85</pose>
</include>
</world>
</sdf>

```

Inicio del juego

Para llevar a cabo la iniciación del juego es necesario realizar previamente la conexión con el contenedor Docker (*RADI*) donde se va a llevar a cabo toda la ejecución del ejercicio. Una vez realizada esta conexión, se deberá seleccionar el circuito en el que el usuario quiera jugar, seleccionar la dificultad del oponente, y, pulsar el botón *Load in robot*, una vez se hayan cargado los respectivos códigos, se podrá proceder pulsando el botón *Play* para comenzar la ejecución.

Con respecto a las versiones iniciales del reto *Follow Line* de **Unibotics**, se ha tenido que implementar un cambio dentro del RADI, pues para era necesario poder lanzar el escenario con el circuito seleccionado por el usuario.

Para implementar esta característica, dentro del fichero *manager.py* (encargado del lanzamiento de los ejercicios, comprobar el código mediante PyLint, noVNC, etc), se ha añadido una variable con scope global que contiene un array con todos los ejercicios que requieren el cambio de circuito. De manera que, antes de lanzar un ejercicio se comprueba si es uno de estos, y, si es así, el circuito que se ha obtenido del comando de lanzamiento que llega vía *WebSockets* se emplea para formatear la cadena de texto que contiene la instrucción de lanzamiento del proceso. Esta instrucción de lanzamiento contendrá el nombre del fichero que se corresponde con el modelo del circuito deseado por el usuario, de manera que Gazebo ya sabe qué escenario cargar.

Finalmente, se lanzará este proceso (además de algunos otros como noVNC para mostrar GZClient y la consola), y se avisará al *Front End* que la conexión está lista.

Selección de circuito

El usuario podrá elegir mediante un desplegable uno de los circuitos disponibles para realizar la ejecución del juego, estos circuitos son *Default*, *Montmelo*, *Montreal* y *Nürburgring*.



Figura 4.5: Selector de circuitos.

El circuito *Default* será el escenario por defecto en el que comenzará la simulación, si el usuario selecciona otro, se le comunicará al contenedor Docker, y este se encargará de volver a lanzar la simulación con el escenario seleccionado. Esta comunicación se realiza por medio de WebSockets.


```
// Kill actual sim
startSim(2);

// Stop Code
stopCode();

// StartSim
startSim(1, circuit);
```

Figura 4.6: Cambio de circuito.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el código del selector de circuitos se encarga de matar la simulación en curso e iniciar la nueva simulación con el circuito que se obtiene del selector.

Selección de dificultad

El selector de circuitos brinda al usuario un total de tres dificultades diferentes, *Easy*, *Medium* y *Hard*, adicionalmente, el usuario también podrá seleccionar una cuarta dificultad, llamada *Teleoperate* que consiste en que podrá teleoperar el coche del oponente con las teclas de dirección.

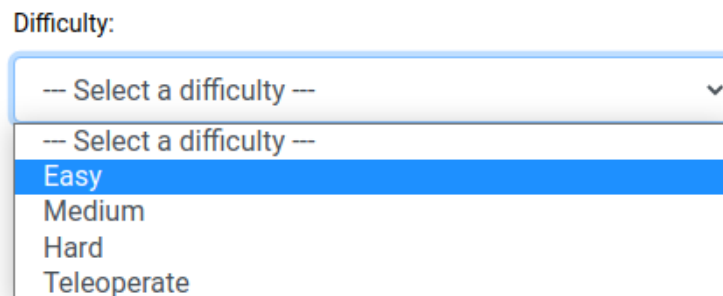


Figura 4.7: Selector de dificultad.

4.2.2. Modo teleoperado

En este juego se ha considerado el extra de implementar un modo de teleoperación para ambos vehículos, para brindar al usuario la posibilidad de probar su código ante diversas situaciones y pueda desarrollar un código más robusto, también con el objetivo de que pueda controlar alguno de los dos vehículos en el caso de que se haya quedado atascado. El usuario

podrá controlar su vehículo, mediante el botón de teleoperación situado en la barra superior, y el coche oponente seleccionando la dificultad *Teleoperate*, como se ha mencionado antes.



Figura 4.8: Teleoperación apagada.



Figura 4.9: Teleoperación encendida.

Como se puede apreciar en las figuras, el botón de teleoperación del vehículo del usuario, cambiará de color en función de si la teleoperación está encendida o apagada.

Implementación del botón de teleoperación

Para llevar a cabo el control de la teleoperación se ha implementado mediante código JavaScript un *listener* para el botón de teleoperación, que se encarga de comprobar si se puede activar el modo, es decir, no se está teleoperando el otro vehículo, cambiar la imagen del botón de teleoperación y añadir el handler correspondiente a los eventos *keyup* y *keydown*.

```
teleop_btn.addEventListener('click', function(){
    // If variable is false, activate teleoperate mode
    if(!teleop_mode && !teleop_mode_guest){
        // Activate mode
        teleop_mode = true;
        teleop_img.src = "% static 'unibotics-exercises/static/assets/exercises/follow_line_game/img/joystick_on.png' %";
        document.addEventListener('keydown', keyHandler, false);
        document.addEventListener('keyup', keyHandler, false);
        return;
    }
    if((teleop_mode) && !teleop_mode_guest){
        // Else, turn of teleop mode and remove event listeners
        teleop_mode = false;
        teleop_img.src = "% static 'unibotics-exercises/static/assets/exercises/follow_line_game/img/joystick_off.png' %";
        document.removeEventListener('keydown', keyHandler, false);
        document.removeEventListener('keyup', keyHandler, false);
        return;
    }
});
```

Figura 4.10: Listener del botón de teleoperación.

El handler que se le asigna a los eventos *keyup* y *keydown* se encarga de determinar cual es la tecla que se ha soltado o pulsado, y, si es una de las flechas de dirección establece un valor constante a la variable de velocidad o giro.

```
// Event Handlers for controls
function keyHandler(event) {
  // Right (39), Left (37), Down (40), Up (38)

  // First check if websocket_gui_quest and websocket_code_quest are defined
  if((typeof(websocket_gui) !== 'undefined' && (typeof(websocket_code) !== 'undefined'))){
    let cmd = "#tele";

    // Prevent using arrow keys to scroll page
    if([32, 37, 38, 39, 40].indexOf(event.keyCode) > -1) {
      event.preventDefault();
    }

    if(event.keyCode == 39) {
      //console.log('Right');
      w = (event.type == 'keydown')?-1:0;
    }else if(event.keyCode == 37) {
      //console.log('Left');
      w = (event.type == 'keydown')?1:0;
    }else if(event.keyCode == 40) {
      //console.log('Down');
      v = (event.type == 'keydown')?-2:0;
    }else if(event.keyCode == 38) {
      //console.log('Up');
      v = (event.type == 'keydown')?2:0;
    }
    console.log('v: ', v, 'w: ', w);
  }
}
```

Figura 4.11: Key Handler.

Como se puede apreciar en la figura 4.10, los valores de velocidad son asignados a las correspondientes variables de velocidad o de giro. Los valores de estas variables son enviados al contenedor Docker mediante el websocket por el que viaja el código desde el navegador al contenedor.

4.2.3. Evaluador automático

Este evaluador consiste en mostrar en tiempo real las distancias que hay entre los coches, con el fin de que el usuario pueda competir contra la plataforma. Para cada circuito se han establecido una serie de puntos (*checkpoints*) a lo largo del mismo, que sirven para saber en que lugar se encuentran los robots, y, con esta información poder calcular la distancia que le queda a cada robot para alcanzar al adversario. Estos *checkpoionts* son almacenados en una serie de *arrays*, y, en función del circuito que haya seleccionado el usuario se empleará el correspondiente.

La información de posición se esta recibiendo con una determinada frecuencia en el tiempo a través del WebSocket *ws_gui*, este se encarga de actualizar las variables que contienen las posiciones de los robots. A continuación, se ha desarrollado código JavaScript que se encarga

de utilizar los valores que contienen estas variables de posición y calcula el checkpoint más cercano a la posición de cada robot y construye los caminos (*paths*) desde un robot hasta el otro. Una vez se obtienen los *paths*, se calcula la distancia total de estos y se muestra en la interfaz del usuario.

Distances	
Host-Guest	372
Guest-Host	409

Figura 4.12: Evaluador automático.

4.2.4. Carga de código

Una vez se ha establecido la conexión con *RADI*, se puede proceder a la carga del código. Esta carga se realiza mediante un botón *Load in robot*, que una vez pulsado, se encarga de habilitar el botón *Play* después de haber realizado una comprobación exitosa del código del usuario.

Cuando el usuario procede a realizar la carga del código en los respectivos robots, el código que se ha desarrollado se obtiene del editor de código situado en la parte izquierda de la pantalla. Para realizar la carga de código de las distintas dificultades, se ha desarrollado un script en *JavaScript* que se encarga de realizar una solicitud al servidor web, pidiendo el código correspondiente con la dificultad seleccionada.

Para que el servidor web pueda proporcionar el código de cada dificultad al navegador web solicitante, se han creado una serie de usuarios con el prefijo de *bot*, que contienen el código correspondiente a cada dificultad. También, ha sido necesaria la creación de un nuevo *endpoint* en el servidor web.

Desde el lado del servidor web, cuando se recibe una solicitud en dicho *endpoint*, este se encarga de determinar cual es la dificultad y el ejercicio del que se está solicitando por medio de los datos aportados en el propio *endpoint*.

Finalmente, unz vez se tienen ambos códigos, estos se envían cada uno por el *WebSocket* que se corresponde con su robot.

4.3. Drone Cat Mouse Game

4.3.1. Diseño

Al igual que todos los juegos de la plataforma, estos comparten una plantilla *HTML* con los componentes básicos de un ejercicio, por lo que para el caso de este ejercicio, cabe mencionar que las barras superiores de conexión con *RADI* y de control de la simulación son similares a las de **Follow Line Game**.

Bajo el navbar, a mano izquierda se encuentra el editor de código, y a mano derecha, los botones para el control de la ejecución del ratón, el evaluador automático, el simulador *Gazebo* y la consola del contenedor Docker.

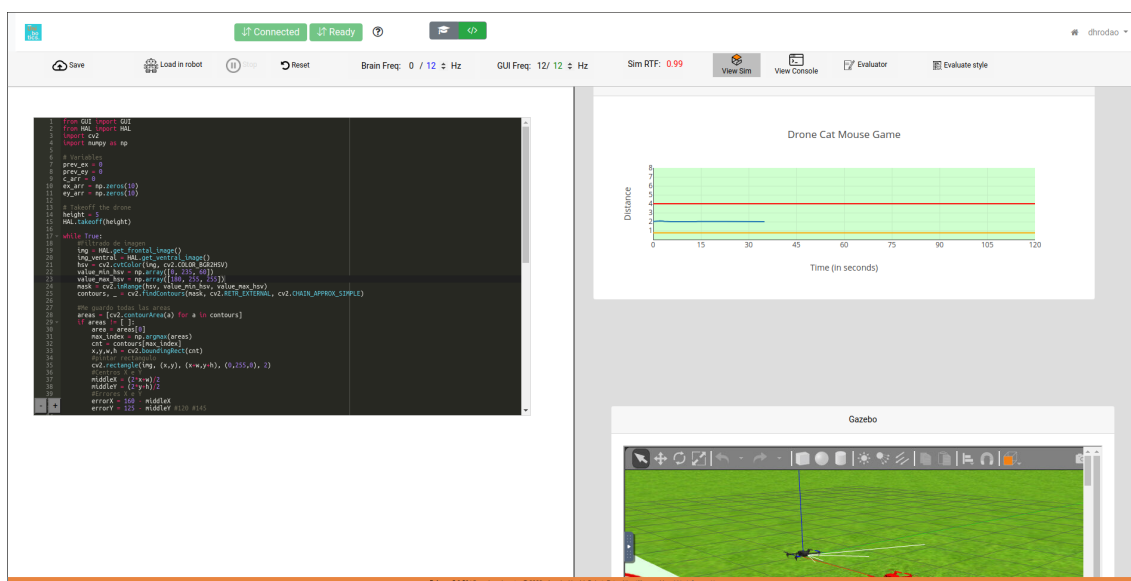


Figura 4.13: Plantilla Drone Cat Mouse.

Por otro lado, la plataforma Unibotics contaba con una versión del reto *Drone Cat Mouse* con una arquitectura en la que, internamente, el *ratón* era instanciado dentro del controlador del robot que se correspondía con el *gato*, y este, se controlaba desde el propio objeto del *gato*.

En la version desarrollada para este trabajo, se han introducido algunos cambios. En primer lugar, se han desacoplado los controladores para los robots, de manera que ahora cada uno es

independiente del otro. Esto da lugar a la necesidad de tener dos *WebSockets* para cada robot (inicialmente se tenían únicamente dos *WebSockets* para comunicarse con el *gato*, y este, se encargaba de trasladar la información al *ratón*), *ws_code* y *ws_gui* para el *gato* y el *ratón*.

En la versión inicial del ejercicio, el código del ratón, se encontraba almacenado dentro del *RADI*. Actualmente esto se ha cambiado, de manera que el código del *ratón* se pide al *webserver* especificando el ejercicio y la dificultad seleccionada. Este cambio se ha realizado con el fin de seguir el mismo paradigma que con los usuarios, el código de los mismos se recibe desde el *webserver*. Una vez recibido el código, este es enviado al *ratón* por medio del *WebSocket* correspondiente.

Inicio del juego

De igual manera que en el juego *Follow Line*, primeramente hay que realizar la conexión con el *RADI*. Posteriormente, puede elegirse la dificultad del ratón, cargar el código del usuario, y reanudar la simulación.

Capítulo 5

Juegos Síncronos

5.1. Follow Line Game Síncrono

Capítulo 6

Experimentos y validación

Este capítulo se introdujo como requisito en 2019. Describe los experimentos y casos de test que tuviste que implementar para validar tus resultados. Incluye también los resultados de validación que permiten afirmar que tus resultados son correctos.

Capítulo 7

Resultados

En este capítulo se incluyen los resultados de tu trabajo fin de grado.

Si es una herramienta de análisis lo que has realizado, aquí puedes poner ejemplos de haberla utilizado para que se vea su utilidad.

Capítulo 8

Conclusiones

8.1. Consecución de objetivos

Esta sección es la sección espejo de las dos primeras del capítulo de objetivos, donde se planteaba el objetivo general y se elaboraban los específicos.

Es aquí donde hay que debatir qué se ha conseguido y qué no. Cuando algo no se ha conseguido, se ha de justificar, en términos de qué problemas se han encontrado y qué medidas se han tomado para mitigar esos problemas.

Y si has llegado hasta aquí, siempre es bueno pasarle el corrector ortográfico, que las erratas quedan fatal en la memoria final. Para eso, en Linux tenemos *aspell*, que se ejecuta de la siguiente manera desde la línea de *shell*:

```
aspell --lang=es_ES -c memoria.tex
```

8.2. Aplicación de lo aprendido

Aquí viene lo que has aprendido durante el Grado/Máster y que has aplicado en el TF-G/TFM. Una buena idea es poner las asignaturas más relacionadas y comentar en un párrafo los conocimientos y habilidades puestos en práctica.

1. a

2. b

8.3. Lecciones aprendidas

Aquí viene lo que has aprendido en el Trabajo Fin de Grado/Máster.

1. Aquí viene uno.
2. Aquí viene otro.

8.4. Trabajos futuros

Ningún proyecto ni software se termina, así que aquí vienen ideas y funcionalidades que estaría bien tener implementadas en el futuro.

Es un apartado que sirve para dar ideas de cara a futuros TFGs/TFMs.

Apéndice A

Manual de usuario

Esto es un apéndice. Si has creado una aplicación, siempre viene bien tener un manual de usuario. Pues ponlo aquí.

Bibliografía

- [1] HISTORIA DE LA ROBÓTICA. <https://scielo.isciii.es/pdf/aue/v31n3/v31n3a02.pdf>
- [2] DOCUMENTACIÓN OFICIAL DE JAVASCRIPT <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>
- [3] DOCUMENTACION OFICIAL DE DJANGO <https://docs.djangoproject.com>
- [4] DOCUMENTACIÓN OFICIAL DE WEBRTC. <https://webrtc.org/>
- [5] PABLO MORENO. TORNEOS DE PROGRAMACIÓN DE ROBOTS EN UNA PLATAFORMA ONLINE. (2020) <https://gsyc.urjc.es/jmplaza/students/tfm-kibotics-torneos-pablo-moreno-2020.pdf>
- [6]