



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

**INTEGRACIÓN DE ROBOTS FÍSICOS EN
UNA PLATAFORMA WEB DE ROBÓTICA
EDUCATIVA**

Trabajo Fin de Grado

Autor: David Valladares Vigara
Tutores: Jose María Cañas Plaza y Julio Manuel Vega Pérez

Curso Académico 2019/2020

Resumen

Índice general

1. Introducción	6
1.1. Robótica	6
1.2. Robótica educativa	9
1.3. Kibotics	13
2. Objetivos	15
2.1. Objetivos del TFG	15
2.2. Requisitos	16
2.3. Metodología	16
2.4. Plan de trabajo	17
3. Herramientas	19
3.1. Python	19
3.2. HTML	19
3.3. JavaScript	20
3.4. Bootstrap	20
3.5. Django	21
3.6. Flask	22
3.7. Web Serial API	23
3.8. PyInstaller	23
3.9. mCore	23
3.10. Raspberry Pi	24
4. Integración del robot Mbot	27
4.1. Características del Mbot	27
4.2. Diseño	27
4.3. Lado Cliente	29
4.3.1. Editor en el navegador web	29
4.3.2. Conexión con el Mbot vía USB	29
4.3.3. Envío del código fuente al servidor	31
4.3.4. Recepción del ejecutable	32
4.3.5. Carga en el robot físico y ejecución a bordo	32
4.4. Lado Servidor	33
4.4.1. Recepción del código fuente	34

4.4.2. Conversión a lenguaje Arduino/C++	34
4.4.3. Compilación cruzada	34
4.4.4. Envío del ejecutable	35
4.5. Validación experimental	35
5. Integración del dron Tello	38
5.1. Características del drone Tello	38
5.2. Diseño	40
5.3. Lado cliente	40
5.3.1. Preparación del anfitrión	40
5.3.2. Editor en el navegador web	42
5.3.3. Envío del código fuente al servidor	42
5.3.4. Recepción del ejecutable	43
5.3.5. Conexión con el drone	44
5.3.6. Ejecución	44
5.4. Lado servidor	46
5.4.1. Recepción del código fuente	46
5.4.2. Empaquetado	46
5.4.3. Envío del empaquetado	47
5.5. Validación experimental	48
6. Integración del robot GoPiGo3	51
6.1. Características del Robot GoPiGo3	51
6.2. Diseño	53
6.3. Lado Cliente	54
6.3.1. Editor en el navegador web	56
6.3.2. Envío del código al servidor Flask en el robot	56
6.4. Lado Servidor Kibotics	58
6.5. Lado GoPiGo3	58
6.5.1. Preparación del ordenador a bordo del GoPiGo3	58
6.5.2. Recepción a bordo del código fuente	60
6.5.3. Creación del proceso que ejecuta la aplicación robótica	61
6.6. Validación experimental	62
7. Conclusiones	64
7.0.1. Conclusiones	64
7.0.2. Líneas futuras	65
8. Bibliografía	66

Índice de figuras

1.1. Cocepto de Robot	7
1.2. Tipos de robots	8
1.3. Sistema robótico DaVinci	9
1.4. Robot Perseverance	9
1.5. Las cuatro palabras de la Robótica educativa (Báez <i>et al.</i> , 2011).	10
1.6. Enseñanza STEM	11
1.7. Lenguaje de programación Scratch	11
1.8. Mbot (esquina superior izquierda), Mindstorms EV3 (esquina superior derecha), ejemplo de robot construido con VEX (esquina inferior izquierda) y Root Robot (equina inferior derecha)	12
1.9. Robot PiBot	13
1.10. Ejercicio con Blockly en Kibotics	14
1.11. Ejercicio con Python en Kibotics	14
2.1. Modelo iterativo	16
2.2. Blog para el seguimiento del TFG	17
3.1. Bootstrap	21
3.2. Arquitectura Django	22
3.3. Arquitectura Django	22
3.4. Placa mCore	24
3.5. Proceso de carga de un programa a la placa mCore	25
3.6. Características hardware para la Raspberry Pi modelo 3B	26
4.1. Partes del robot Mbot	28
4.2. Software mBlock	28
4.3. Infraestructura seguida para la integración del Mbot	29
4.4. Editor Blockly para el Mbot	30
4.5. Fotogramas del vídeo de ejemplo de envío para el Mbot en MacOS	37
5.1. Esquema del dron Tello	39
5.2. IDE de Arduino (arriba a la izquierda), DroneBlocks (arriba a la derecha) y Tello EDU App (abajo)	39
5.3. Arquitectura del desarrollo para el Tello	40
5.4. Editor para programar el dron Tello en Python	42

5.5. Conectarse al punto de acceso WiFi emitido por el dron	44
5.6. Descompresión en Windows	45
5.7. Fotogramas del vídeo de ejemplo de realización de un programa para el Tello en Linux .	50
6.1. Diseño hardware del GoPiGo3	51
6.2. Software para GoPiGo3	52
6.3. Editor para el lenguaje Bloxter	53
6.4. Diseño para la integración del GoPiGo3. La línea roja indica los componentes que deben estar conectados a la misma red WiFi	53
6.5. Editor python para el GoPiGo3	56
6.6. Fotogramas del vídeo de ejemplo de realización de un programa para el GoPiGo3 en MacOS	63

Indice de Fragmentos

3.1. Ejemplo de código HTML	20
3.2. Ejemplo para generar un ejecutable con PyInstaller	23
4.1. Abrir conexión con el Mbot desde el navegador web por el puerto serie	30
4.2. Envío del programa desde el navegador al servidor web	31
4.3. Conversión de Blockly a Python	31
4.4. Extracción del dato enviado en la respuesta	32
4.5. Carga del compilado al Mbot	32
4.6. Extracción programa en el servidor	34
4.7. Traducción de lenguaje Python a Arduino	34
4.8. Compilado y obtención del .hex	35
4.9. Respuesta a la petición que envió el navegador	35
5.1. Ejecutable de instalación para MacOS	41
5.2. Envío del programa desde el navegador al servidor	42
5.3. Extracción empaquetado	43
5.4. Comandos para ejecución del envío en MacOS	45
5.5. Comandos para ejecución del envío en MacOS	46
5.6. Extracción del programa fuente en el servidor	46
5.7. Creación ejecutable con PyInstaller	47
5.8. Creación empaquetado y respuesta en Windows y MacOS	47
5.9. Respuesta a la petición para Linux	47
5.10. Creación empaquetado y respuesta en Windows y MacOS	48
6.1. Página de información del GoPiGo3	54
6.2. Sección para el envío	56
6.3. Función de envío del código al servidor del GopiGo3	57
6.4. Ejecutable para la instalación y configuración de la Raspberry Pi	59
6.5. Extracción del código en el servidor del GoPiGo3	61
6.6. Creación del proceso con el programa para el robot	61

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se introducen las aplicaciones de la robótica para el ambiente educativo y las motivaciones que han llevado al desarrollo del Trabajo de Fin de Grado (TFG). Este TFG se ha desarrollado dentro de la plataforma Kibotics para tratar de mejorar la integración sobre robots reales.

1.1. Robótica

La robótica es la ciencia que estudia el diseño y la construcción de máquinas que permiten realizar y facilitar tareas desempeñadas por el ser humano (Quiroga, 2018). Actualmente, puede considerarse una de las áreas de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) con más auge.

No existe una definición única universal para la palabra “robot”. Por ejemplo, la Real Academia Española (RAE) determina que es una “maquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas” (RAE, 2020). También se define como un “sistema compuesto por mecanismos que le permiten hacer movimientos y realizar tareas específicas, programables y eventualmente inteligentes, valiéndose de conceptos de otras áreas del conocimiento” (Salamanca, Barrera y Pérez, 2010).

Un robot se compone, principalmente, de las siguientes partes (Figura 1.1):

- *Esqueleto*. Encargado de soportar los componentes que forman al robot.
- *Controladora*. Encargada de procesar los datos obtenidos de los sensores, tomar decisiones y enviar las órdenes a los actuadores.
- *Sensores o receptores*. Miden magnitudes físicas y las transforman a magnitudes eléctricas. Existen dos tipos, por un lado, están los encargados del entorno que les rodea y, por otro, los del estado interno. Ejemplos de sensores son los infrarrojos, de proximidad, ultrasonido, etc.
- *Actuadores*. Encargados del movimiento del robot mediante las órdenes recibidas de la controladora.

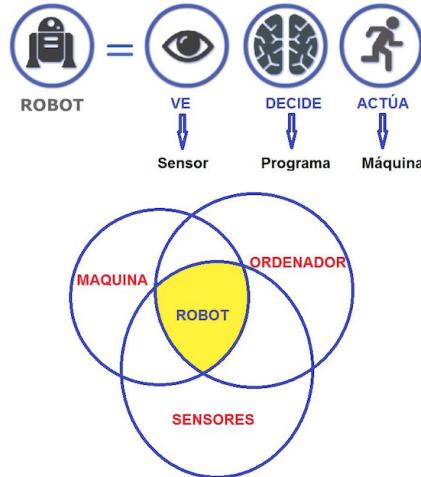


Figura 1.1: Cocepto de Robot

Los robots se solían clasificar en dos tipos. Por un lado, están los robots industriales utilizados en el entorno de la fabricación industrial que, generalmente, suelen ser articulaciones o brazos robóticos que desarrollan actividades específicas (soldar, pintar, manipular materiales...). Por otro lado, encontramos los robots de servicio, dedicados a trabajos en el sector servicios o en el ámbito doméstico ("Tipos de robots", s.f.). Sin embargo, debido a la gran evolución y desarrollo que ha experimentado la robótica, es necesario realizar una división más concreta:

- Robots Domésticos: dedicados a las tareas del hogar. Entre ellos destacan robots utilizados como aspiradoras (p. ej. Roomba de iRobot), limpiadores de piscinas...
- Robots Médicos: destinados al uso en medicina para desarrollar tareas durante las cirugías o para el levantamiento de personas.
- Robots Militares: orientados a ser utilizados en tareas militares, como la desactivación de bombas, búsqueda y rescate de personas...
- Robots Humanoides: se caracterizan por presentar un aspecto parecido y realizar tareas propias de un ser humano, llegando a ser capaces de mostrar emociones.
- Robots Educativos: destinados al aprendizaje de la robótica.
- Robots Espaciales: encargados de realizar tareas en el espacio, como podría ser vehículos que recorren un planeta o los utilizados en la Estación Espacial Internacional.

Existen otros criterios para clasificar a los robots. Uno de ellos es en función del entorno de trabajo para el que están destinados. De esta manera, podemos encontrar los robots estacionarios que están fijos en un lugar (p. ej. brazos robóticos usados en industrias), los robots de suelo (p. ej. robot "Curiosity"), los robots submarinos (p. ej. "Nereus") y los robots aéreos (p. ej. drones). También se pueden catalogar según su autonomía, donde destacan los tele-operadores (controlados a distancia por un humano), los semi-automáticos (tienen cierta autonomía, pero siguen siendo



Figura 1.2: Tipos de robots

manejados por un humano) y los automáticos (no necesitan a un ser humano porque son capaces de tomar sus propias decisiones, algo en lo que se está centrando la empresa “Tesla” al querer sacar vehículos completamente autónomos) («Tipos de robots», s.f.). En definitiva, existe un gran número de robots que nos ayudan con multitud de tareas y que suponen un gran beneficio para las personas (Salamanca, Barrera y Pérez, 2010) (Figura 1.2).

También están tomando gran importancia los robots simulados. Son robots virtuales que emulan el comportamiento de un robot real, permitiendo al usuario interactuar con él como si fuera uno real. Esto se fundamenta en la idea de Robert E. Shannon de simulación como “un proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias para el funcionamiento del sistema” (Shannon, 1998). Al trabajar con ellos, no se necesita su presencia física, se crea una interacción más segura y se puede experimentar con situaciones más complejas o con las que no se posee información.

Existen algunas aplicaciones recientes de la robótica que demuestran la necesidad de profundizar en el estudio de esta tecnología. Entre ellas destaca el sistema robótico DaVinci (Figura 1.3), uno de los sistemas quirúrgicos más avanzados del mundo. Fue diseñado por la empresa norteamericana *Intuitive Surgical* y su objetivo es ofrecer una opción mínimamente invasiva en procedimientos de mayor complejidad quirúrgica. DaVinci, se compone de una consola, brazos robóticos y un sistema de visualización. Desde la consola, el cirujano tiene una imagen tridimensional del cuerpo y puede controlar a los brazos robóticos que realizarán la operación (Morente, 2017).

Otra aplicación importante es la Misión Mars 2020. Se trata de una misión de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que pretende llevar a Marte un pequeño helicóptero autónomo llamado “Ingenuity”, el cual sobrevolará la superficie del planeta, así como un nuevo robot explorador denominado “Perseverance” (Figura 1.4). Este último ha sido fabricado por el Laboratorio de Propulsión a Reacción de la NASA, y es sucesor del “Curiosity”. Este robot cuenta con el primer micrófono que permitirá captar sonido y recogerá muestras del planeta que serán devueltas a la Tierra. La misión fue lanzada en julio de 2020 y su llegada a Marte está prevista para febrero de 2021 (Pastor, 2020).



Figura 1.3: Sistema robótico DaVinci

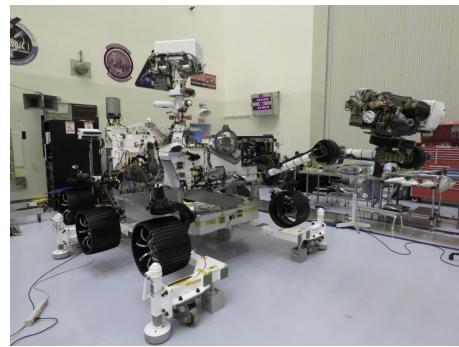


Figura 1.4: Robot Perseverance

1.2. Robótica educativa

Desde los años sesenta aumentó el interés por introducir la robótica también en el ámbito educativo, creando así el campo de la “Robótica educativa” o “Robótica pedagógica”. Se define como una disciplina que permite concebir, diseñar y desarrollar robots para que las personas se puedan iniciar pronto en el mundo de la ciencia y la tecnología (Ruiz-Velasco, García y Rosas, 2007). Al combinar diferentes áreas del conocimiento, se ha convertido en una herramienta novedosa que puede utilizarse en las primeras etapas de la educación de los niños y niñas ayudando a potenciar su desarrollo integral (Quiroga, 2018) y que, además, permite que los estudiantes adquieran otras competencias, como la socialización, la creatividad, la iniciativa y el pensamiento lógico (Bravo y Forero, 2012).

Los orígenes de la robótica educativa se remontan al siglo XX con la teoría constructivista de Jean Piaget, la cual indica que el conocimiento se construye activamente en la mente del estudiante. Esto coincide con la pedagogía del construcciónismo de Seymour Papert donde, además, se afirma que lo que construye el individuo debe ser tangible y con un significado personal para él. Algunos desarrollos de la robótica educativa se basan en esta última teoría (González y Jiménez, 2009).

La robótica educativa, por tanto, se considera una herramienta paralela a las asignaturas tra-

dicionales, haciéndolas más atractivas e integradoras para los estudiantes (Quiroga, 2018), pues ayuda a los alumnos a construir conceptos y a hacer una interpretación personal de la realidad (Salamanca, Barrera y Pérez, 2010).

Una de las metodologías para llevar a cabo un proceso de enseñanza-aprendizaje de robótica es la de las cuatro palabras de Báez *et al.* (2011), representadas en la Figura 1.5. La primera de ellas es “imaginar”, los estudiantes piensan y debaten sobre dispositivos que pueden ser útiles para resolver un problema o facilitar un trabajo, lo que favorece al pensamiento creativo. A continuación, encontramos la palabra “diseñar”, que les permite crear el artefacto que han imaginado consiguiendo una conexión entre el mundo físico y la imaginación. La tercera es “construir”, que se basa en el montaje de los dispositivos que han diseñado los miembros del grupo de trabajo, por lo que favorece la cooperación y el trabajo manual. La última palabra del proceso es “programar” o dotar de inteligencia a los dispositivos montados a través de un ordenador, mejorando el pensamiento lógico, la autopercepción y el análisis espacial.

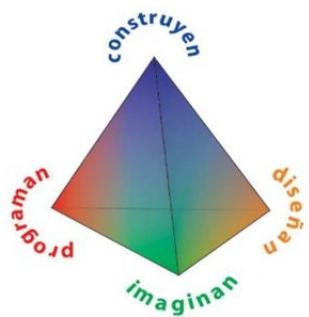


Figura 1.5: Las cuatro palabras de la Robótica educativa (Báez *et al.*, 2011).

En la última década, la robótica ha adquirido mucha importancia en un gran número de países (Quiroga, 2018), y cada vez genera mas interés implantarla en las aulas (Salamanca, Barrera y Pérez, 2010). Esto se debe a que aporta muchos beneficios en el proceso de enseñanza-aprendizaje de asignaturas difíciles (Moreno *et al.*, 2012) y permite alcanzar un mejor desarrollo en materias de ciencias, tecnología o matemáticas. Por ello, la robótica puede considerarse una enseñanza STEM (acrónimo de *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) (Figura 1.6), un término acuñado en los años 90 por la NSF (*National Science Foundation*) que sirve para designar aquellos ámbitos que permiten formarse en esas cuatro áreas de conocimiento.

Otro aspecto importante es que, debido a las crecientes aplicaciones robotizadas en las empresas, se necesita incluir más profesionales formados en este sector. Por ello, si se empieza a enseñar desde edades tempranas se obtendrá una mejor formación en este ámbito (Hernández, 2019). Esta era una de las intenciones del Decreto 89/2014 del 24 de julio, que añade en el currículo de la Educación Primaria de la Comunidad de Madrid la asignatura “Tecnología y recursos digitales para la mejora del aprendizaje”, cuyos contenidos incluyen los fundamentos de la programación y la programación de juegos sencillos. Además, el Decreto 48/2015 del 14 de mayo, también añadió

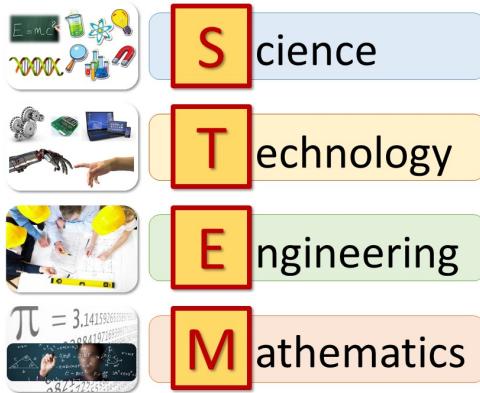


Figura 1.6: Enseñanza STEM

la asignatura “Tecnología, Programación y Robótica” en el currículo de la Educación Secundaria de la Comunidad de Madrid, con materias sobre la programación y el pensamiento computacional, la robótica y su relación con el mundo real, diseño e impresión 3D, Internet y su uso responsable y desarrollo del aprendizaje basado en proyectos (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado, 2018).

También ha sido de gran ayuda la creación de lenguajes de programación orientados a alumnos de menor edad, así como la aparición de empresas orientadas a distribuir kits de robótica para STEM. En el primer caso, destaca el lenguaje **Scratch** (Figura 1.7), diseñado por el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) y que consiste en un lenguaje de programación visual y basado en bloques que permite desarrollar la creatividad y el pensamiento lógico de una manera sencilla (Penalva, 2019).



Figura 1.7: Lenguaje de programación Scratch

Respecto a los kits de robótica existentes en el mercado, algunos de los más populares son (Figura 1.8):

- **Mbot.** Diseñado por la empresa MackeBlock y basado en Arduino Uno.
- **Mindstorms Education EV3.** Fabricado por LEGO. Permite diseñar diferentes robots gracias a las piezas de LEGO. Dispone de una pequeña computadora programable llamada EV3.

- **VEX Robotics.** Se trata de un proveedor de productos de robótica educativa que diseña kits para estudiantes de diferentes edades. Sus kits están basados en piezas, con las que el alumno podrá diseñar un gran número de robots. Incluye tres tipos de kits: el *VEX IQ*, orientado para estudiantes de primaria y secundaria al tener piezas de plástico y no necesitar herramientas para su montaje, el *VEX EDR*, orientado para alumnos más mayores y que utiliza piezas metálicas para la construcción de los robots y el *VEX PRO*, orientado a profesionales de la robótica.
- **Root Robot.** Diseñado por iRobot Educational. Su objetivo es mejorar la enseñanza en temas relacionados con la codificación, creatividad y resolución de problemas.

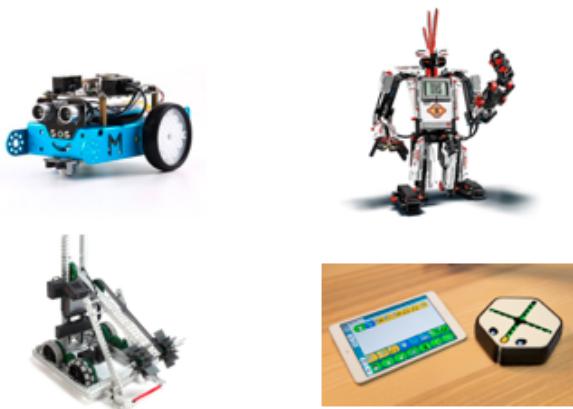


Figura 1.8: Mbot (esquina superior izquierda), Mindstorms EV3 (esquina superior derecha), ejemplo de robot construido con VEX (esquina inferior izquierda) y Root Robot (equina inferior derecha)

Existen aplicaciones y entornos web de programación robótica que facilitan la creación de programas para los robots, como pueden ser MBlock (desarrollada por la empresa MakeBlock y basada en Scratch 3), Bitbloq (creada por la empresa BQ, que utiliza bloques para realizar los programas y es compatible con la placa Arduino), Open Roberta Lab (entorno de programación web diseñado por Google, que permite programar algunos de los robots más famosos como el EV3 y también robots simulados) o Kibotics.

Por último, se han creado competiciones que permiten que los alumnos se diviertan diseñando y programando sus robots. Algunas de ellas son:

- *First LEGO League*: realizada desde el 2006 por la Fundación Scientia. Reúne a centros escolares y los alumnos deben solucionar un problema planteado que cambian en cada edición.
- *RoboCup Junior*: una de las más famosas. Sus tres modalidades se basan en un 2 contra 2 de fútbol robótico, robots de rescate y diseño de una coreografía de robots bailarines.
- *Robocampeones*: dedicada para alumnos de secundaria y bachillerato. Entre sus modalidades destaca la competición de sumo robótico.

1.3. Kibotics

Kibotics¹, es un entorno web desarrollado por la Asociación JdeRobot² para la docencia de robótica, programación y áreas STEM. Fue ideada para ayudar a los alumnos a iniciarse en el mundo de la robótica y la programación de forma sencilla y práctica.

Es una plataforma con un gran potencial debido a sus características. Es multirobot, dentro de ella podemos encontrar distintos ejercicios tanto de robots simulados (p. ej. un Fórmula Uno) como de robots reales (p. ej. Pibot, figura 1.9). Posee una evaluación automática sobre los ejercicios y correcciones de estilo. También incluye ejercicios orientados a la visión artificial utilizando las cámaras de los robots.

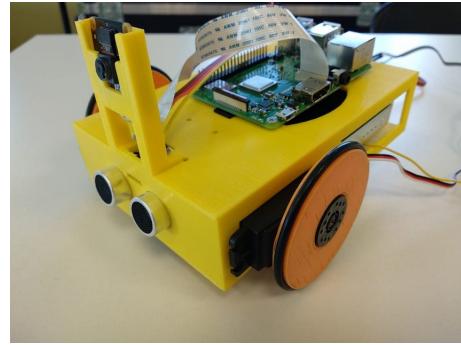


Figura 1.9: Robot PiBot

En cuanto a los lenguajes reconocidos por esta plataforma, encontramos **Blockly** y **Python**. El primero de ellos fue desarrollado por Google y es muy similar a **Scratch**. Está orientado para alumnos de menor edad por ser un lenguaje de programación visual basado en una interfaz de bloques que se pueden encajar como si fuera un puzzle. Su uso en colegios e institutos es cada vez mayor, ya que esta diseñado para que la iniciación al mundo de la programación sea sencilla, divertida y creativa (Figura 1.10).

Python, por su parte, está enfocado para alumnos mayores. Constituye uno de los lenguajes de programación con más popularidad en la actualidad según el Índice de Popularidad de Lenguajes de Programación³. Gracias a la sencillez de su sintaxis, es muy utilizado para iniciarse en la programación.

¹<https://kibotics.org/>

²<https://jderobot.github.io/>

³<http://pypl.github.io/PYPL.html>

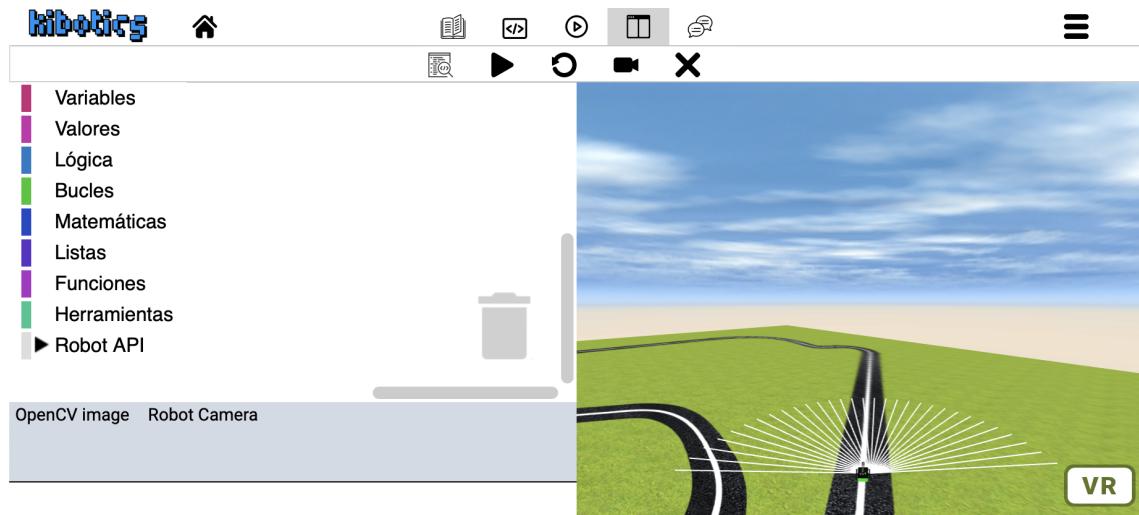


Figura 1.10: Ejercicio con Blockly en Kibotics

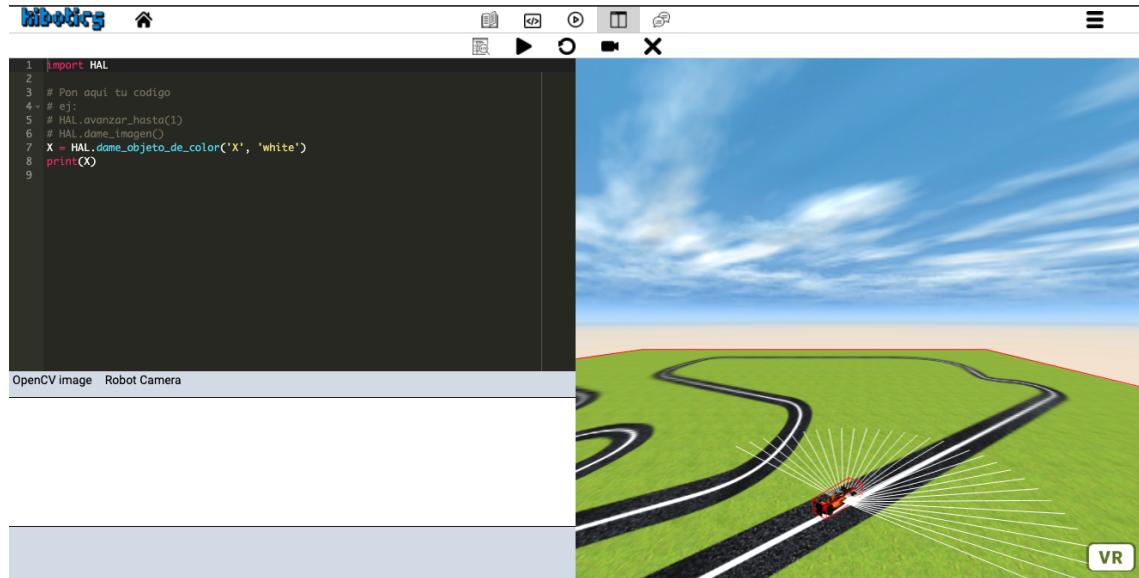


Figura 1.11: Ejercicio con Python en Kibotics

Capítulo 2

Objetivos

Una vez presentado el marco en el que se realiza este trabajo, en este capítulo se exponen los objetivos propuestos y los requisitos de este proyecto, además de la metodología de trabajo que se ha llevado a cabo para su resolución.

2.1. Objetivos del TFG

El objetivo principal de este trabajo es conseguir integrar nuevos robots reales en la plataforma Kibotics para poder programarlos desde ella.

En concreto, en este proyecto se pretende dar soporte a tres robots diferentes. Cada uno de estos robots presenta una serie de características propias que le hace ser interesante y distinto, motivo por el cual supone un gran enriquecimiento para esta plataforma.

- *Mbot*. Se ha elegido por ser uno de los más populares en el mundo de la Robótica Educativa, ya que tiene un diseño muy atractivo para los niños. Además, está basado en la placa *ArduinoUno*, una de las placas más famosas de código abierto y de la que hay mucha documentación y ejemplos de ejercicios que ayudan en el aprendizaje.
- *Tello*. Este dron ofrece muy buenas cualidades para aprender, fácil y económico, a programar este tipo de robots, los cuales han adquirido una gran popularidad en los últimos años, tanto a nivel profesional como para el entretenimiento.
- *GoPiGo3*. Este robot, cuya placa controladora es una Raspberry Pi, se ha convertido en un robot muy inteligente y versátil. Soporta visión; se le puede conectar una cámara vía USB o mediante un puerto dedicado especialmente a la *Pi Camera*. Esto le otorga una amplia gama de posibilidades para realizar programas relacionados con la visión artificial: detección de objetos, análisis de imagen, etc.

Gracias a estos robots, los alumnos no solo aprenden temas relacionados con la robótica, sino que también van a introducirse en el mundo de la informática y la electrónica.

Hasta el momento, Kibotics incluye algunos robots reales para poder programarlos, entre ellos

el ya mencionado Mbot. Sin embargo, este robot solo puede programarse utilizando un ordenador con Linux como sistema operativo. Además, el proceso de enviarle el programa no es directo, pues cuando el usuario quiere enviar el programa realizado al robot, es necesario descargar un ejecutable.

2.2. Requisitos

La integración en Kibotics de los citados robots se realizará, además, siguiendo los siguientes objetivos específicos.

- *Multiplataforma*. La programación de estos robots será soportada por los principales sistemas operativos (Linux, Windows y MacOS).
- *Sin instalación*. El proceso de envío del programa al robot debe ser lo más sencillo posible para evitar que el usuario tenga que hacer instalaciones o configuraciones adicionales. De esta manera conseguimos que las personas con pocos conocimientos en informática también puedan hacer uso de la plataforma.

Con todo lo anterior, se pretende dar continuidad al objetivo principal de Kibotics: acercar la robótica al público más general y a los más pequeños.

2.3. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se ha seguido el modelo de diseño iterativo (Figura 2.1), muy utilizado en el desarrollo de software. Se basa en la idea de entregar al cliente algo tangible cuanto antes para que pueda validarla y, si es necesario, puedan hacerse los cambios de manera rápida sin tener que modificar todo el proyecto por completo. Además, también se deben hacer pequeñas iteraciones para evaluar las funcionalidades en los siguientes ciclos. Este diseño es una buena opción porque aporta cierta flexibilidad, algo muy útil en los procesos de desarrollo del software, los cuales suelen experimentar cambios frecuentes.

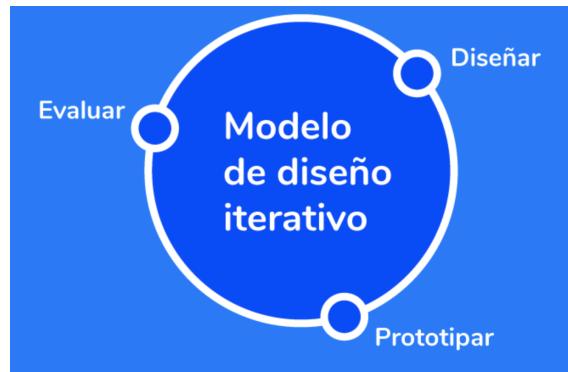


Figura 2.1: Modelo iterativo

La ventaja de usar esta metodología es que los tutores no tienen que esperar mucho tiempo hasta

ver resultados del proyecto, por lo que pueden revisar e ir dando sus opiniones y realimentaciones de forma rápida. De este modo, al hacer varias iteraciones, el riesgo ante un problema es pequeño y fácil de solucionar. Todo esto hace que el conocimiento sobre el producto sea progresivo y creciente.

Así, para el seguimiento de este trabajo, se ha utilizado la herramienta de control de versión **Git** y **GitHub**. Además, se planificaban reuniones semanales con los tutores del TFG y se creó un blog¹ donde se registraban las tareas realizadas a lo largo de la semana (Figura 2.2).

The screenshot shows a blog homepage titled "My blog". At the top right are links for "My blog", "Installation", and "About". Below the header is a circular profile picture of a man and the text "David Valladares Vigara". To the left is a sidebar with links to "Site for my TFG", "Madrid", "Email", "About Me", "Twitter", and "GitHub". Under "MY BLOG" are links to "Check it out", "INSTALLATION", and "ABOUT". The main content area shows a timeline from "2020" to "2019" with a single entry for "WEEK 37". The entry details "Week 37" with a link to "Week 32 33 34 35 36", a "less than 1 minute read" note, and a "WEEK 37" link. Below this is another entry for "Week 31" with a link to "Week 32 33 34 35 36", a "1 minute read" note, and a "WEEK 31" link. Further down are entries for "Week 30" (link to "Week 27 28 29", "1 minute read", "WEEK 30") and "Week 27 28 29" (link to "Week 27-28-29", "2 minute read", "WEEK 27-28-29").

Figura 2.2: Blog para el seguimiento del TFG

2.4. Plan de trabajo

El plan de trabajo que se ha seguido durante la elaboración del proyecto puede dividirse en las siguientes etapas:

- **Aterrizaje en la plataforma de Kibotics.** Esta plataforma web está montada sobre un servidor usando la tecnología **Django**, por lo que se tuvo que aterrizar en cómo consistía el funcionamiento de esta aplicación.
- **Diseño para el Mbot.** En el inicio de esta fase fue fundamental entender el API de **Web Serial** y de las características del propio robot. Se hizo un primer prototipo de ejemplo para

¹<https://roboticslaburjc.github.io/2019tfg-david-valladares/>

ver la interacción con una placa **ArduinoUno**. Posteriormente, se realizó la integración en la plataforma y se perfiló la interfaz y la usabilidad del envío del programa al robot.

- **Diseño para el dron Tello.** Al igual que en la fase anterior, también se empezó estudiando las características del robot y del uso de **PyInstaller**. La primera integración que se diseñó fue para los ordenadores con **Linux** y, después, se procedió con el diseño de la integración para **MacOS** y **Windows**.
- **Diseño para el GopiGo3.** En este caso, además de conocer las características del robot, también fue necesario aprender a manejar la Raspberry Pi y entender la librería **Flask**. Se desarrolló un primer prototipo de ejemplo para encender un led en la placa **Arduino** vía web. Después, se realizó la integración en Kibotics y se mejoró la interfaz y usabilidad del envío del programa.

Capítulo 3

Herramientas

En este capítulo se describen las herramientas que han sido utilizadas para el desarrollo de este trabajo de fin de grado.

3.1. Python

Python es un lenguaje de programación diseñado por Guido Van Rossum y publicado en el año 1991 (Challenger, Díaz y Becerra, 2014). Es un proyecto de código abierto gestionado por Python Software Foundation, una sociedad sin ánimo de lucro. Actualmente se encuentra en su versión 3.8 (Zaforas, 2018).

Presenta algunas características que implican una serie de ventajas para los usuarios y que son las responsables de su gran popularidad. En primer lugar, se trata de un lenguaje multiparadigma, es decir, permite utilizar diferentes paradigmas de programación, como son la orientación a objetos, funcional o imperativa. Además, al ser un lenguaje interpretado, no necesita ser compilado ni enlazado. Posee un tipado dinámico (aunque desde la versión 3.5 puede hacerse uso del tipado estático), y es multiplataforma, lo que significa que puede ser ejecutado en diferentes sistemas operativos (Zaforas, 2018). La sintaxis de Python es más sencilla que la de otros lenguajes de programación, algo muy importante para la educación. Además, cuenta con una de las librerías más completas, comparable a la de Java y .NET (Challenger, Díaz y Becerra, 2014). Por todo esto es uno de los lenguajes de programación más utilizados en la actualidad.

3.2. HTML

HTML (*HyperText Markup Language*) fue desarrollado en 1991 por Tim Berners-Lee mientras trabajaba en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), y popularizado por el navegador Mosaic desarrollado en NCSA (Raggett, Le Hors y Jacobs, 1999).

No es un lenguaje de programación, es decir, no tiene capacidad de crear una funcionalidad dinámica, sino que consiste en un lenguaje de marcado de hipertexto, basado en el metalenguaje SGML (*Standard Generalized Markup Language*). Este lenguaje da formato a los documentos de la WWW

(*World Wide Web*) (Lamarca, 2018). Se podría considerar un lenguaje entendido universalmente por todos los ordenadores que permite que la información publicada tenga una distribución global (Raggett, Le Hors y Jacobs, 1999).

La organización W3C (*World Wide Web Consortium*) es quien lleva a cabo las especificaciones relativas a este lenguaje. Está definido por “etiquetas” que el navegador interpreta y da forma en la pantalla. Estas etiquetas encierran un contenido y, todo en conjunto, forman lo que se denomina “elemento” (Lamarca, 2018).

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <meta charset="utf-8">
    <title>Mi pagina de prueba</title>
  </head>
  <body>
    
  </body>
</html>
```

Fragmento 3.1: Ejemplo de código HTML

3.3. JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación desarrollado por Brendan Eich a finales de los años 90. Se considera un lenguaje interpretado, de tipado débil y dinámico, y se utiliza, principalmente, para crear páginas web dinámicas en el lado del cliente, es decir, aquellas que incluyen efectos, animaciones, ventanas emergentes, etc. (Eguíluz, 2009). Sin embargo, actualmente también existe la posibilidad de ejecutar JavaScript en todo tipo de desarrollo de aplicaciones (NodeJs).

Su nombre se debe a que los programas o aplicaciones creados con este lenguaje de programación se denominan “script” (Eguíluz, 2009). Además, su sintaxis es muy similar a la de otros lenguajes (Java y C)

En este trabajo JavaScript ha tomado un papel importante. Ha permitido, en el lado del cliente, dotar de dinamismo a las páginas web y también ha proporcionado una vía de comunicación, desde el navegador, con el servidor de Kibotics, el servidor utilizado en el GoPiGo3 y el robot Mbot.

3.4. Bootstrap

Bootstrap (Figura 3.1) fue diseñado por Mark Otto y Jacob Thornton para crear mejores herramientas internas en Twitter, aunque en agosto de 2011 pasó a ser de código abierto, lo que favoreció su desarrollo (Cumplido, 2018).

Consiste en un entorno utilizado para el desarrollo web basado en CSS (*Cascading Style Sheets*), un lenguaje que permite estructurar y componer páginas web, y JQuery, una librería de JavaScript utilizada para dotar de interactividad a una web. Utiliza un sistema de rejillas (cuadrículas) para el diseño de la web. Este entorno facilita la tarea de maquetar una página web, creando así una interfaz muy limpia y adaptable al tamaño de la pantalla del dispositivo. Es compatible con los principales navegadores (Firefox, Google Chrome, Safari), lo que supone una gran ventaja. Además, existe una gran cantidad de documentación disponible, lo que facilita su uso y comprensión (Guevara, s.f.).



Figura 3.1: Bootstrap

Este entorno ha sido utilizado para la maquetación de las páginas web de las unidades de los robots. Se han utilizado algunos de los elementos que Bootstrap ofrece como son los botones, paneles, etc.

3.5. Django

Django es un entorno de código abierto escrito en Python, creado en 2005, el cual permite desarrollar un entorno web complejo de una forma rápida y estructurada. Actualmente es mantenido por Django Software Foundation y se encuentra en la versión 3.0 (Novapros, 2020).

Sigue una arquitectura MVC (Modelo – Vista - Controlador), como se observa en la figura 3.2 (Holovaty y Kaplan-Moss, 2007) y se describe a continuación:

- *Modelo*. Los modelos de datos creados están mapeados directamente a las tablas de la base de datos, permitiendo aislar el código de la aplicación de la base de datos.
- *Vista*. Corresponde con la capa de presentación, y está basada en plantillas HTML.
- *Controlador* (en Django llamado “views”). Responsable de seleccionar la plantilla a mostrar. Atiende a una petición y, según el mapeo de la URL, (*Uniform Resource Locator*) redirige a una vista u otra.

Ofrece una serie de características bastante interesantes como es su excelente capa de seguridad (p ej. permite una protección contra los ataques maliciosos “*Cross-site request forgery*”), dispone de un sistema de administrador “por defecto,” sin necesidad de realizar ningún tipo de configuración. También proporciona una interfaz para el acceso a la base de datos, facilitando las consultas (Novapros, 2020).

Django: Esquema Global

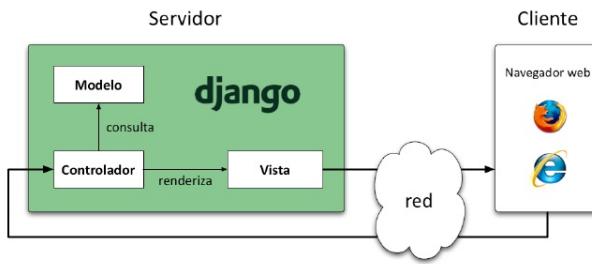


Figura 3.2: Arquitectura Django

3.6. Flask

Flask (Figura 3.3), lanzado en abril de 2010 es, junto con **Django**, uno de los entornos webs más famosos escritos en Python.

Está enfocado en proporcionar lo mínimo necesario para poner en funcionamiento una aplicación, por eso se le considera un entorno “minimalista”. Por otro lado, no requiere de otras dependencias para realizar acciones básicas, de manera que la curva de aprendizaje para su comprensión es muy baja. Debido a su sencillez en la estructura, posee una velocidad mayor que **Django** y es bastante útil para iniciarse en el aprendizaje de desarrollo web, permitiendo crear servidores de una forma rápida. Debido a ello, **Flask** está orientado al sector servicios, los cuales implican muchas visitas y una carga grande de peticiones, y también para proyectos personalizados o sencillos (Rodríguez, 2019).



Figura 3.3: Arquitectura Django

En el robot GoPiGo3 se tendrá montado un servidor **Flask** que permitirá una comunicación HTTP

(*Hypertext Transfer Protocol*) con otros dispositivos.

3.7. Web Serial API

Web Serial es un API (*Application Programming Interface*) **JavaScript**, especificada por WICG (*Web Platform Incubator Community Group*), que permite interactuar con dispositivos conectados al puerto serie del ordenador desde un navegador web. Actualmente este API es soportada por los navegadores de escritorio basados en **Chromium** (Google Chrome, Opera, Edge), pero para poder utilizarla es necesario habilitarla.

Muchos dispositivos periféricos que se conectan al ordenador requieren de una descarga software para controlarlo. Un claro ejemplo de esto se ve en la robótica; en la mayoría de los robots en los que la carga del programa se realiza por USB (*Universal Serial Bus*), es necesario instalar previamente en el ordenador un software que permita hacerlo. La ventaja de **Web Serial** es que proporciona una vía capaz de comunicarse con estos dispositivos sin necesidad de instalar nada en el ordenador (W3C Community Group, 2020).

Gracias a las características que presenta el Mbot, puede hacerse uso de **Web Serial API** para abrir una comunicación entre el navegador y el robot conectado al USB de la computadora.

3.8. PyInstaller

PyInstaller es un módulo lanzado por la línea de comandos que permite agrupar aplicaciones Python en un único paquete junto con todas las dependencias necesarias y el intérprete de Python, permitiendo crear un ejecutable para ser distribuido. Es compatible con las versiones de Python2.7 y para las versiones superiores a Python3.3. Puede ser utilizado para Linux, Windows y MacOS, aunque no permite una compilación cruzada, es decir, la aplicación empaquetada solo puede utilizarse en el mismo sistema operativo en el que fue empaquetado, por lo que una aplicación empaquetada en Linux no podrá ser utilizada en una computadora con Windows o MacOS (SO Documentation, s.f.).

```
$ pyinstaller --onefile hello.py
```

Fragmento 3.2: Ejemplo para generar un ejecutable con PyInstaller

3.9. mCore

mCore (Figura 3.4) es una placa basada en **ArduinoUno**, una microcontroladora de código abierto que utiliza un microchip ATmega328P, pero extendida con más componentes y que, además, incorpora la electrónica de potencia para el manejo de los motores. El robot Mbot incorpora esta placa como controladora.

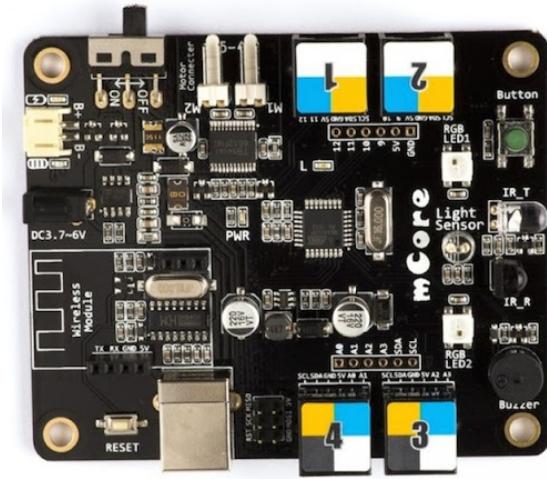


Figura 3.4: Placa mCore

La placa permite ser programada a través del puerto serie gracias al bootloader, un software alojado en la memoria flash. En el arranque de la placa, el bootloader comprueba si se está intentado programarla y, en caso afirmativo, se procede a grabar el programa en la memoria y se reinicia. En el caso contrario, el bootloader ejecuta el último programa que estuviera grabado. Estas placas pueden ser programadas utilizando el lenguaje **Arduino**, un lenguaje de alto nivel que está basado en el lenguaje C++, pero adaptado para facilitar la programación de los pines de entrada y salida (Llamas, 2016).

Una vez que el programa ha sido escrito en este lenguaje de alto nivel, es necesario compilarlo para obtener el código ejecutable entendido por la placa para el proceso de carga (Figura 3.5).

3.10. Raspberry Pi

Raspberry Pi es un proyecto que nace en 2009 en Londres bajo la asociación caritativa denominada Fundación Raspberry Pi, cuyo objetivo era mejorar la enseñanza de la informática en las aulas.

Se trata de una placa computadora de bajo coste que puede considerarse como un ordenador de tamaño reducido. Su *hardware* se compone, principalmente, de una CPU (*Central Processing Unit*), una GPU (*Graphics Processing Unit*), una memoria RAM (*Random Access Memory*), una ranura SD (*Secure Digital*) utilizada para el almacenamiento, salidas y entradas de audio y vídeo, pines de entrada y salida de propósito general (GPIO), varios buses USB, tarjeta de red y alimentación. En cuanto a su software, existen una gran cantidad de sistemas operativos que pueden usarse, tales como Raspbian, Kali Linux, Windows 10 IoT Core, Ubuntu Core, etc. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Politécnica de Valencia, 2013).

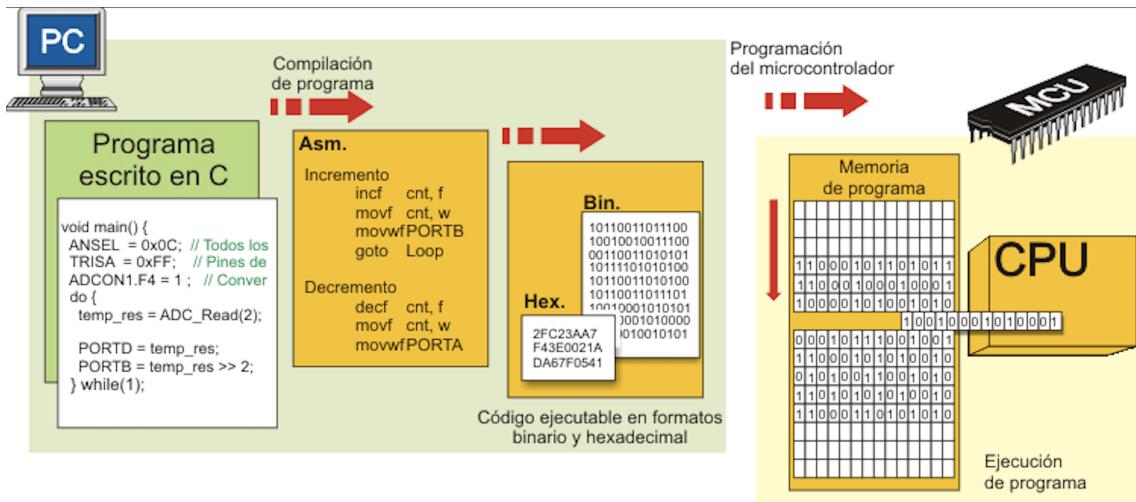


Figura 3.5: Proceso de carga de un programa a la placa mCore

Este ordenador es muy utilizado en la actualidad gracias a la gran variedad de usos que puede ofrecer, ya que puede emplearse como un ordenador de sobremesa, utilizarse en Robótica, como dispositivo controlador de un sistema domótico, etc.

Para este TFG, hemos usado la Raspberry Pi 3 modelo B, la cual forma parte de la controladora del robot GoPiGo3. En la figura 3.6 se muestran sus características principales.

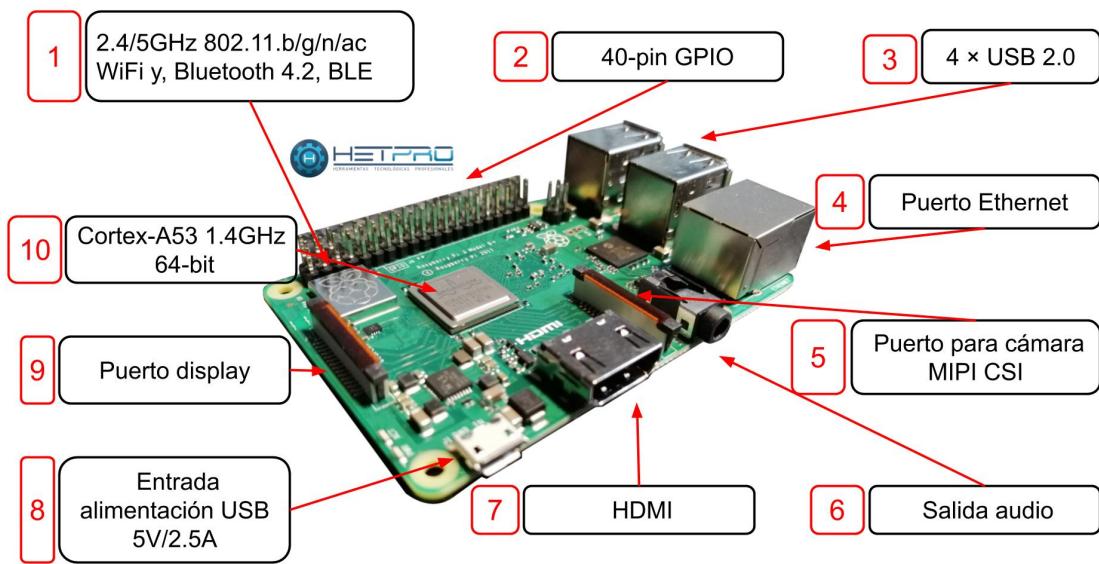


Figura 3.6: Características hardware para la Raspberry Pi modelo 3B

Capítulo 4

Integración del robot Mbot

En este capítulo se aborda el proceso de integración que va a permitir programar al robot físico Mbot desde la plataforma Kibotics sin necesidad de una instalación previa ni descargas adicionales.

4.1. Características del Mbot

Mbot es un robot fácil de montar y con una estructura robusta, orientado a empezar el aprendizaje de la robótica y de la programación desde la educación primaria. Está diseñado por la empresa MakeBlock¹, la cual dispone de una gran variedad de recursos, robots y kits de robótica.

El robot pesa 400 gramos y sus dimensiones son de 17x13x9 cm (Figura 4.1). Respecto a las especificaciones técnicas, posee una placa llamada mCore que está basada en ArduinoUno, dispone de una microcontroladora ATmega238, cuatro puertos Rj25, un interruptor de encendido, dos leds RGB, un botón, zumbador, un sensor de infrarrojos y otro de luminosidad. Dispone de una batería de litio de 3,7V, pero también funciona con cuatro pilas de tipo AA. En cuanto a sus módulos externos, presenta dos motores, ultrasonido y un seguidor en línea, aunque también pueden utilizarse otras conexiones adicionales. Se comunica por vía puerto serie o por Bluetooth 4.0 (Robótica Educativa con Mbot”, 2020).

MakeBlock distribuye un software gratuito, llamador mBlock (Figura 4.2) que permite programar a este robot. Este software puede ser usado vía web, aunque para utilizarlo de esta manera es necesario que el usuario instale un *driver*. También puede utilizarse de forma local, descargándolo en el ordenador. Con él se puede programar al Mbot utilizando los lenguajes de programación Scratch o Python.

4.2. Diseño

En la Figura 4.3. se muestra el diseño seguido para la integración del Mbot en la plataforma de Kibotics. La interacción típica entre robot físico, el navegador web en el ordenador del usuario

¹<https://makeblock.es>

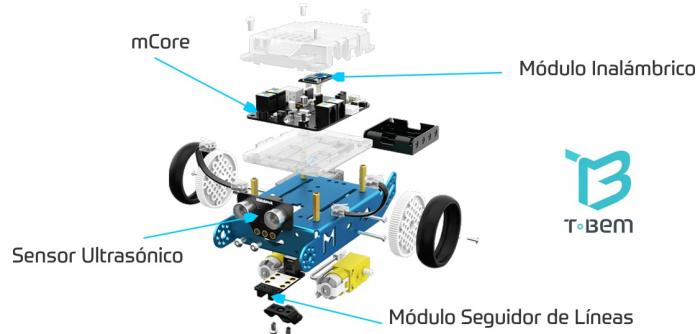


Figura 4.1: Partes del robot Mbot

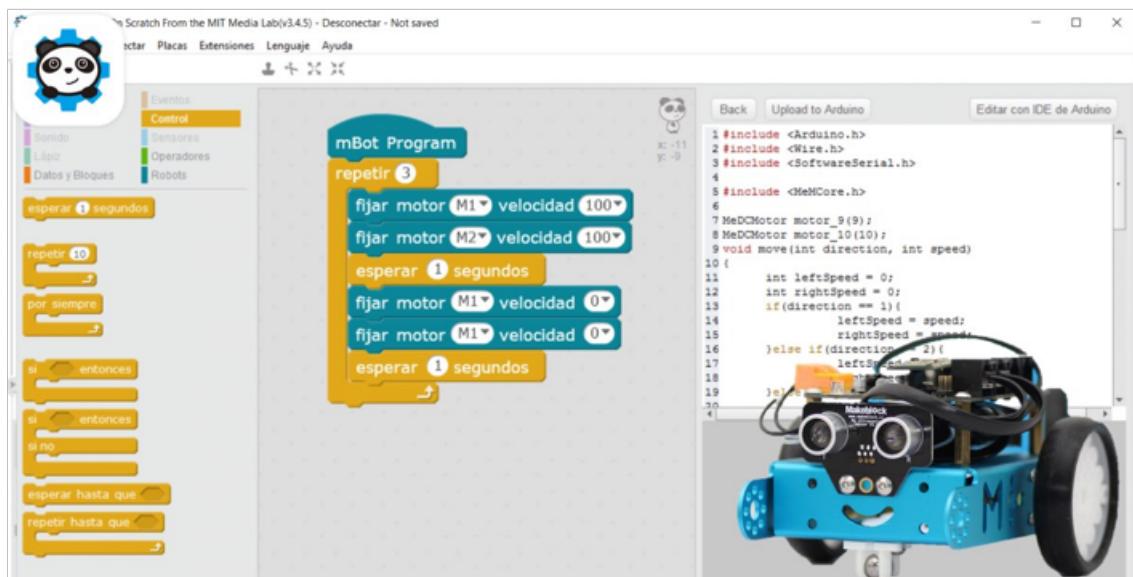


Figura 4.2: Software mBlock

y el servidor de Kibotics consta de los 10 pasos señalados en esa figura.

Gracias al diseño elegido no es necesario que el usuario instale nada en su ordenador ni en el robot para permitir su uso, por lo que el proceso de programación del robot se limitará a que una vez que el usuario ha realizado el programa se envíe al robot directamente.

En las secciones siguientes se detallarán cuáles son las interacciones necesarias entre el cliente y el servidor para permitir la carga del programa al Mbot y su ejecución a bordo.

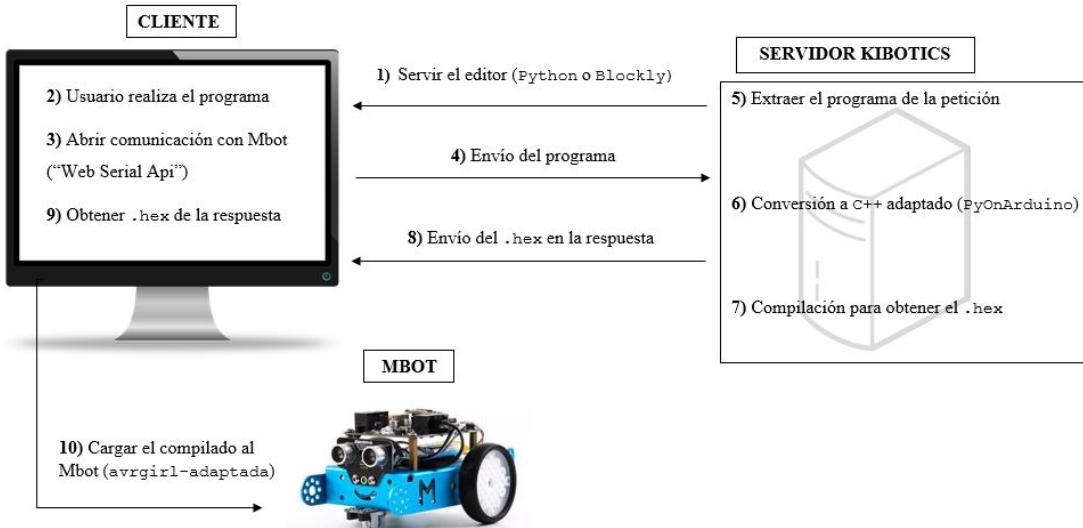


Figura 4.3: Infraestructura seguida para la integración del Mbot

4.3. Lado Cliente

Desde la parrilla principal de Kibotics se puede entrar a la unidad dedicada al Mbot, pudiendo elegir qué lenguaje de programación usar (**Python** o **Blockly**). Dentro de dicha unidad encontramos un apartado que proporciona las instrucciones necesarias para realizar un programa y enviárselo al Mbot real.

4.3.1. Editor en el navegador web

En la página web de Kibotics se proporciona un editor que le permitirá al usuario escribir en su propio navegador web el programa que será enviado al robot. Según la unidad elegida el editor estará orientado al lenguaje respectivo, **Blockly** o **Python**. Por ejemplo, la Figura 4.4 muestra un editor para **Blockly**.

4.3.2. Conexión con el Mbot vía USB

Una vez que el usuario ha escrito el programa deseado y ha conectado físicamente el Mbot por USB a su ordenador, al pulsar el botón azul que se muestra en la Figura 4.4, se iniciará el proceso de envío.

En primer lugar, se abrirá una ventana que muestra los puertos del ordenador disponibles. Se debe seleccionar en el que se encuentra conectado el robot, que aparece nombrado como *USB2.0Serial*. Esta acción permitirá abrir una comunicación entre el navegador y el robot (Fragmento 4.1). Esto

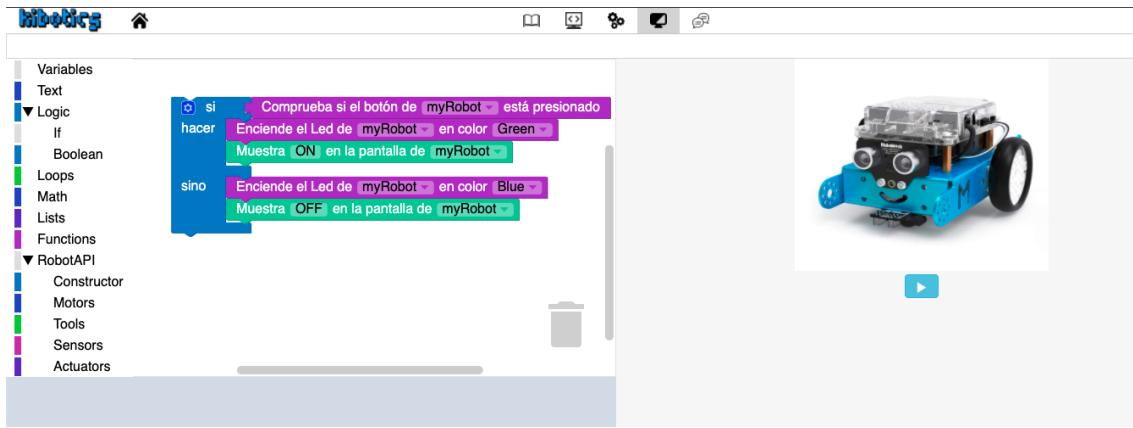


Figura 4.4: Editor Blockly para el Mbot

es posible gracias al módulo `Web Serial API`, que proporciona una API al navegador capaz de interactuar con el puerto serie de la computadora.

```

document.getElementById('uploadMbot').addEventListener('click',
  clickConnect);

});

async function clickConnect() {
  progress.style.width = '0%';
  alertError.style.visibility = 'hidden';
  //— Si el puerto serie estaba ya abierto, cerrarlo
  if (portPrev) {
    await disconnect();
  }
  await connect();
  activeProgress.style.visibility = 'visible';
  progress.style.width = '25%';
  if (document.getElementById('uploadMbot').value == 'python') {
    send_code_to_mbot()
  } else{
    convert_and_send_code_to_mbot();
  }
}

async function connect() {

```

```

    portPrev = await navigator.serial.requestPort();

    await portPrev.open({ baudrate: 115200 });

}

async function disconnect() {
    // — Cerrar el puerto serie
    await portPrev.close();
    portPrev = null;
}

```

Fragmento 4.1: Abrir conexión con el Mbot desde el navegador web por el puerto serie

4.3.3. Envío del código fuente al servidor

Una vez abierta la comunicación USB de forma correcta, se procede a enviar el programa desde el navegador al servidor web Kibotics para su manipulación, como un *query parameter* de una petición GET. Para este envío se utiliza la función `fetch()`, que está proporcionada por JavaScript (Fragmento 4.2).

```

function send_code_to_mbot() {
    var editor = ace.edit("ace");
    let code = editor.getValue();
    console.log(code);
    var enc = new TextEncoder();
    const message = {
        method: "GET"
    };
    url = '/get-python-to-arduino-binary?python-code=' + JSON.
        stringify(code);
    fetch(url, message)
        . . .
}

```

Fragmento 4.2: Envío del programa desde el navegador al servidor web

Hay que tener en cuenta que si el programa está escrito en `Blockly`, debe convertirse previamente al lenguaje `Python` antes de enviarse, como puede verse en el fragmento 4.3.

```
var pythoncode = Blockly.Python.workspaceToCode(editor.ui);
```

Fragmento 4.3: Conversión de `Blockly` a `Python`

4.3.4. Recepción del ejecutable

De la petición enviada al servidor por el navegador con el programa escrito por el usuario, se recibe una respuesta que contiene el programa ya compilado, ejecutable, para poder enviárselo a la microcontroladora a bordo del mBot.

La función `fetch()`, mencionada anteriormente, espera hasta recibir la contestación, pudiendo extraer así el cuerpo de la respuesta, donde se encuentra el programa ejecutable.

```
fetch(url, message)
  .then(function(response) {
    if(response.ok){
      responseOk = true
    } else {
      responseOk = false
    }
    return response.text();
  })
  .then(function(data) {
    var dataBuffer = enc.encode(data);
  })
  .catch(function(err) {
    console.error(err);
  });
}
```

Fragmento 4.4: Extracción del dato enviado en la respuesta

4.3.5. Carga en el robot físico y ejecución a bordo

Una vez extraído el código compilado, se procede a cargarlo en el robot. **Avrgirl-arduino**, una librería nodejs de código abierto, proporciona esa posibilidad de enviar el programa compilado a la microcontroladora, y es compatible con un gran número de placas (entre ellas **ArduinoUno**). Hemos utilizado esta librería adaptándola a nuestras necesidades para el proceso de carga.

```
.then(function(data) {  
    if(responseOk){  
        var dataBuffer = enc.encode(data);  
        upload_to_mbot(dataBuffer)  
        progress.style.width = '99%';  
    }  
});
```

```

        alertError.style.visibility = 'hidden';
    } else{
        console.log("Fallo al compilar el programa")
        infoError.innerHTML = "Error"
        alertError.style.visibility = 'visible';
        activeProgress.style.visibility = 'hidden';
    }
}

. . .

function upload_to_mbot(dataBuffer){
    let avrgirl = new AvrgirlArduino({
        board: "uno"
    });

    avrgirl.flash(dataBuffer,(error) => {
        if (error) {
            console.error(error);
            portPrev = null;
            infoError.innerHTML = "Error!";
            alertError.style.visibility = 'visible';
            activeProgress.style.visibility = 'hidden';

        } else {
            console.info('done correctly.');
            portPrev = null
            alertError.style.visibility = 'hidden';
            activeProgress.style.visibility = 'hidden';
        }
    });
}

```

Fragmento 4.5: Carga del compilado al Mbot

Tras “quemar” el programa en el Mbot, este empezará automáticamente a ejecutar las instrucciones que le fueron programadas.

4.4. Lado Servidor

El servidor de Kibotics es el encargado de proporcionar al navegador las páginas que le permiten ir navegando por la web, y por lo tanto dirigirse a la unidad del Mbot. Pero también toma otro papel fundamental para el desarrollo del envío, ya que será el responsable de adaptar el código fuente que el usuario ha escrito, para que pueda ser entendido por la controladora del robot a la hora de realizarse la carga y ejecutarlo.

4.4.1. Recepción del código fuente

Una vez que el usuario realizó su programa y pulsó en enviar, el navegador le envía al servidor el código fuente escrito para que este lo adapte. Por lo que el servidor tendrá que extraer el código (Fragmento 4.6), que se encuentra en un *query parameter* de la URL.

```
def get_python_to_arduino_code_binary(request):  
    . . .  
    python_code = json.loads(request.GET.get('python_code', None))  
    . . .
```

Fragmento 4.6: Extracción programa en el servidor

4.4.2. Conversión a lenguaje Arduino/C++

El programa extraído en el servidor es lenguaje Python, pero el Mbot, basado en Arduino, no entiende este lenguaje. El lenguaje de alto nivel que usa Arduino, para posteriormente generar el compilado que entiende, es un C++ adaptado, por lo que se debe traducir desde Python. Esto es posible gracias a la librería PyOnArduino, la cual proporciona los mecanismos necesarios para esa traducción y conversión de un fichero.py (extensión para Python) a .ino (extensión para Arduino).

```
. . .  
parsed_file = ast.parse(code)  
translator.robot = 'MBot'  
translator.robot_architecture = ''  
translator.vars.Variables()  
translator.vars.halduino_directory = py_to_arduino_path + 'HALduino/  
halduino'  
translator.TranslatorVisitor().visit(parsed_file)  
translator.create_setup()  
translator.variables_manager = translator.create_variables_manager(  
    file=py_to_arduino_path + 'HALduino/variablesManager.ino')  
translator.create_output('output-file.ino')  
translator.create_makefile('MBot', py_to_arduino_path + 'makefiles/  
)  
. . .
```

Fragmento 4.7: Traducción de lenguaje Python a Arduino

4.4.3. Compilación cruzada

Una vez conseguido el código en Arduino/C++, se debe compilar para obtener el fichero .hex que contiene las instrucciones traducidas a hexadecimal ya ejecutables por la microcontroladora. Esta compilación se lleva a cabo utilizando avrdude, una herramienta que permite la programación

de chips AVR y que puede ser llamada por la línea de comandos.

```
def create_mbot_binary():
    shutil.copyfile(os.path.join(settings.BASE_DIR, 'kibotics-drivers/
        mbot/avrdude'), './avrdude')
    shutil.copyfile(os.path.join(settings.BASE_DIR, 'kibotics-drivers/
        mbot/libftdi1.so'), './libftdi.so')
    shutil.copyfile(os.path.join(settings.BASE_DIR, 'kibotics-drivers/
        mbot/libreadline.so'), './libreadline.so.6')
    shutil.copyfile(os.path.join(settings.BASE_DIR, 'kibotics-drivers/
        mbot/avrdude.conf'), './avrdude.conf')
    shutil.copytree(os.path.join(settings.BASE_DIR, 'kibotics-drivers/
        mbot/arduino-1.8.10/'), 'arduino/')
    call(['make'])
    exercise_dir = './'
    # Extraemos el binario
    f_binary = open(exercise_dir + 'build-uno/output.hex', 'r')
    binary = f_binary.read()
    f_binary.close()
    return binary
```

Fragmento 4.8: Compilado y obtención del .hex

4.4.4. Envío del ejecutable

Tras la compilación del programa en el servidor, obtenemos el .hex que será enviado como respuesta al navegador, para que pueda ser cargado al robot que está junto al usuario.

```
...
binary = create_mbot_binary()

response = HttpResponse(binary, content_type='text/plain')
response['Content-Length'] = len(response.content)
return response
```

Fragmento 4.9: Respuesta a la petición que envió el navegador

4.5. Validación experimental

En las secciones anteriores no se ha mencionado en ningún momento para qué sistema operativo era compatible todo el proceso de envío, y es aquí donde recae una de las principales ventajas de este desarrollo. Al tratarse de una tecnología web de lado del navegador proporciona compatibilidad para cualquier sistema operativo que disponga de un navegador basado en **Chromiun** (Google Chrome, Opera, Edge), ya que actualmente **Web Serial API** solo está disponible para ellos. Con

este diseño se consigue un soporte del mBot multiplataforma, que funciona con independencia del sistema operativo del usuario de Kibotics.

Además, al no necesitar una instalación previa de dependencias o programas por parte del usuario, su usabilidad es más sencilla. Esto es muy importante de cara al uso de la plataforma, ya que al estar orientada a alumnos de baja edad, es necesario que el proceso sea lo más simple posible.

La principal desventaja es que, actualmente, **Web Serial API** está en fase de experimentación en los navegadores **Chromiun**, por lo que necesita ser activada con un proceso previo. Para ello, para activarla por ejemplo en Chrome, debemos escribir en el navegador Chrome “*chrome://flags*” y habilitar el flag “*Experimental web Platform features*”.

La integración del Mbot ha sido probada en diferentes sistemas operativos, verificando el correcto funcionamiento en todos ellos (**Ubuntu 18.04**, **Ubuntu 16.04**, **Windows 10**, **Windows 8**, **MacOS Mojave Versión 10.14.6**).

Por último, se han grabado una serie de vídeos donde se puede observar un ejemplo de realización de un programa y envío al Mbot desde la plataforma Kibotics para los principales sistemas operativos:

- **MacOS:** <https://www.youtube.com/watch?v=UyNa9R-LOPs>
- **Linux:** <https://youtu.be/1jyvoN5ZRxQ>
- **Windows:** <https://youtu.be/4Wq4kMRUeIc>

En la figura 4.5 se muestran unos fotogramas del vídeo de ejemplo para **MacOS**. En ella se observa que el primer paso es realizar el programa deseado. Una vez creado, al pulsar en el botón de envío, se abre el panel para conectarnos con el puerto serie del robot. Finalmente, una vez conectados al robot, el programa es cargado en él, terminando así el proceso de envío. Este proceso sería el mismo para **Windows** y **Linux**.

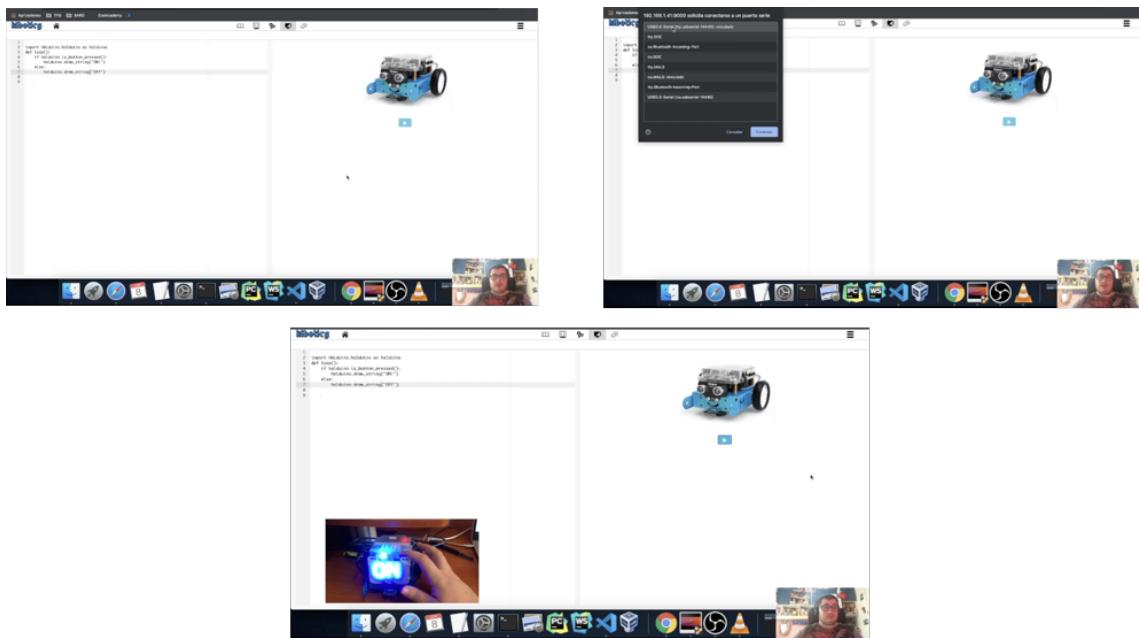


Figura 4.5: Fotogramas del vídeo de ejemplo de envío para el Mbot en MacOS

Capítulo 5

Integración del dron Tello

En este capítulo se describe el desarrollo realizado para poder programar el dron Tello. A diferencia del Mbot, donde el proceso era similar para cualquier sistema operativo, en este caso el proceso va a variar.

5.1. Características del drone Tello

Tello es un mini dron distribuido por la empresa Ryze Technology ¹ (Figura 5.1). Debido a la facilidad de su uso, está destinado tanto a niños como a adultos que quieran aprender a utilizar drones. Puede alcanzar una velocidad de hasta 28 km/h, su radio de control abarca hasta los 100 metros y su señal de vídeo se transmite a una frecuencia de 2,4Ghz. Posee una unidad procesadora de Intel, un barómetro para controlar de altura, motores de tipo escobilla y una cámara de 720p. Además, sus hélices están protegidas y es resistente a las caídas.

Entre sus puntos fuertes destacan su gran estabilidad durante el vuelo y que utiliza un sistema de posicionamiento por visión (VPS). El sistema VPS utiliza un mínimo de dos cámaras para medir la distancia al suelo y la posición a la que se encuentra, compensando así los cambios en la posición que puedan darse (Castro, 2019).

Existen una variedad de software que permiten programar al Tello, entre los que destacan(Figura 5.2).

- Tello EDU App, es una aplicación diseñada para móviles o tablets (iOS y Android), creada por la propia empresa que distribuye a este dron (RYZE Technology), que permite programarle utilizando bloques. Además incluye una opción para programar a un dron Tello simulado.
- El IDE (*Integrated Development Environment*) de Scratch ofrece la posibilidad de programar a este dron utilizando este lenguaje, aunque requiere para su uso de instalaciones previas en el ordenador del usuario.

¹<https://www.ryzerobotics.com/es>

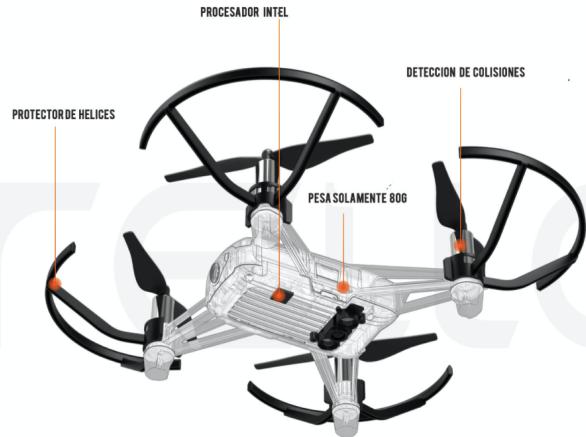


Figura 5.1: Esquema del dron Tello

- DroneBlocks además de permitir programar el Tello, ofrece la posibilidad de utilizar otros drones (Phantom 3, Phantom 4, Mavic Pro, Mavic Air, Spark). Utiliza también un lenguaje de bloques basado en Scratch y está disponible en iOS App Store, Google Play Store y Chrome App Store.



Figura 5.2: IDE de Arduino (arriba a la izquierda), DroneBlocks (arriba a la derecha) y Tello EDU App (abajo)

5.2. Diseño

En la Figura 5.3, se muestra cuál es la arquitectura necesaria para conseguir el envío del programa al dron Tello real desde la plataforma Kibotics.

Para el Mbot no se requería ninguna instalación y, además, el proceso de envío del programa era el mismo para los diferentes sistemas operativos. En el caso del Tello, existen peculiaridades para los diferentes sistemas operativos al no tener control sobre la controladora que posee el robot y al necesitar un *proxy* intermediario. Aunque en el robot no es necesario instalar nada, si que se necesitarán unos requisitos previos para los ordenadores que sean Windows y Mac OS.

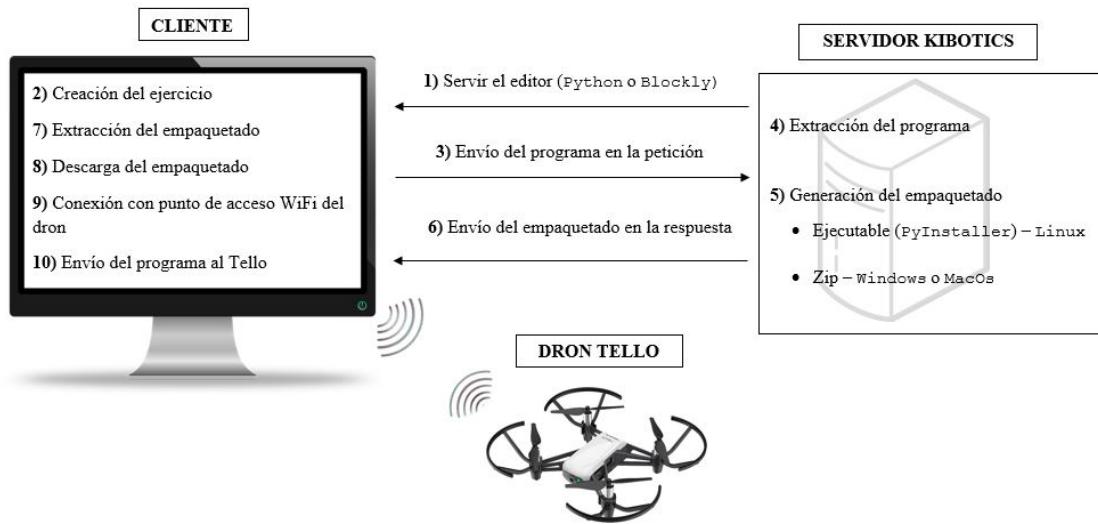


Figura 5.3: Arquitectura del desarrollo para el Tello

A continuación hablaremos en detalle sobre estos 10 pasos necesarios para conseguir la integración del Tello en Kibotics en los sistemas operativos Linux, Windows y Mac OS.

5.3. Lado cliente

En la parrilla de Kibotics se encuentran dos unidades dedicadas al dron Tello, una dedicada a su programación utilizando Python y otra con Blockly. En la unidad se encuentra una sección que proporciona información sobre los requisitos para este robot y cómo utilizarlo.

5.3.1. Preparación del anfitrión

Para Mac OS y Windows es indispensable que el usuario tenga instalado Python en su versión 2.7 y los *drivers* necesarios para el uso del Tello. La empresa DJI posee un repositorio en GitHub

² en el que se facilitan instaladores para su uso en los diferentes sistemas operativos. Por lo que el usuario tendría que instalar estos requisitos. Aunque para el caso de Mac OS, en la página de información de la unidad del Tello se le proporciona al usuario un ejecutable (Fragmento 5.1) que permitirá instalar todas las dependencias necesarias para su uso.

```
#!/bin/bash

##### Requirements #####
env=~/virtualenvs/tello-env
if [ -d $env ];
then
    source ~/virtualenvs/tello-env/bin/activate
else
    if ! type "pip" > /dev/null; then
        sudo easy_install pip
    fi
    if ! type "brew" > /dev/null; then
        /usr/bin/ruby -e "$(curl -fsSL https://raw.githubusercontent.com/Homebrew/install/master/install)"
        brew update
    fi
    sudo brew install cmake
    sudo brew install boost
    sudo brew install boost-python
    sudo brew install ffmpeg
    sudo brew install tcl-tk

    mkdir ~/virtualenvs
    pip install virtualenv
    virtualenv ~/virtualenvs/tello-env --python=python2.7
    source ~/virtualenvs/tello-env/bin/activate
    pip install SimpleWebSocketServer
    pip install numpy
    pip install matplotlib
    pip install opencv-python==3.1.0.1
fi
```

Fragmento 5.1: Ejecutable de instalación para Mac OS

En Linux, sin embargo, no es necesaria ninguna instalación previa para poder utilizar este dron. Esto es gracias a PyInstaller, una librería de Python, y a que el servidor de Kibotics se encuentra en una máquina Linux. En las próximas secciones se profundizará en este aspecto.

²<https://github.com/dji-sdk/Tello-Python>

5.3.2. Editor en el navegador web

En la página web de cada unidad se tiene también un editor (Python o Blockly), adaptado a la programación del Tello, donde el usuario podrá escribir su programa. El aspecto es similar al de los utilizados para el Mbot.

Una vez que el usuario ha desarrollado el programa, debería pulsar el botón azul llamado “Ejecutar en Tello” (Figura 5.4) para iniciar el proceso de envío, que varía dependiendo del sistema operativo utilizado por el usuario de Kibotics.

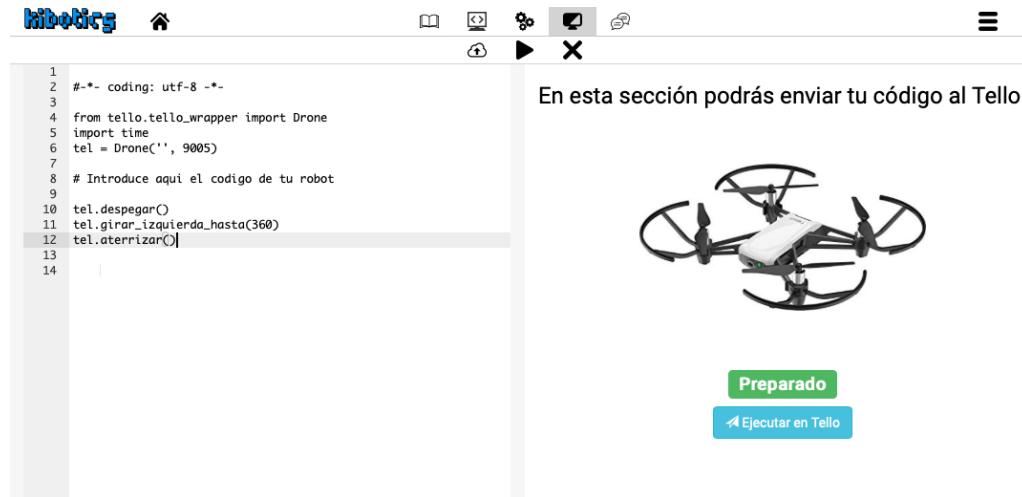


Figura 5.4: Editor para programar el dron Tello en Python

5.3.3. Envío del código fuente al servidor

Una vez iniciado el proceso de envío, el primer paso es enviar el código escrito por el usuario desde el navegador web al servidor de Kibotics, para generar el ejecutable que funciona con el Tello real.

Se extrae el código escrito en el editor y se envía desde el navegador al servidor en un *query parameter* de una petición GET (Fragmento 5.2).

```
function send_code_tello() {
    var editor = ace.edit("ace");
    let code = editor.getValue();
    console.log(code);
    const message = {
        method: "GET"
```

```

};

var url = '/get_code_to_tello?python_code=' + JSON.stringify(
    code);
fetch(url, message)
    . . .
}

```

Fragmento 5.2: Envío del programa desde el navegador al servidor

5.3.4. Recepción del ejecutable

El navegador queda a la espera de recibir la respuesta a la petición que envió al servidor. Y tras obtener esta respuesta, extrae un ejecutable en el caso de que se use una máquina **Linux**, o un fichero comprimido en el caso de usar **Windows** o **MacOS**, que preparó el servidor y que permitirá realizar la ejecución del programa. Posteriormente, el fichero extraído se descargará en el ordenador de usuario.

```

. . .

var url = '/get_code_to_tello?python_code=' + JSON.stringify(code)
;
fetch(url, message)
    .then(response => {
        ld.style.display = "none";
        if (response.ok) {
            download_executable(response);
        } else {
            console.error("Bad Response");
        }
    })
    .catch(err => console.error(err));
}

function downloadExecutable(response) {
    response.blob().then(blob => {
        var down = document.createElement("down");
        document.body.appendChild(down);
        down.style = "display: none";
        url = window.URL.createObjectURL(blob);
        down.href = url;
        down.download = 'tello_code';
        down.click();
        window.URL.revokeObjectURL(url)
    })
}

```

Fragmento 5.3: Extracción empaquetado

5.3.5. Conexión con el drone

Para poder ejecutar el programa y que conecte con el Tello, necesitamos estar conectados con él. El dron, una vez encendido, crea un punto de acceso *WiFi*, que tendrá el nombre Tello seguido de un número (Figura 5.5), al que se tiene que conectar el usuario. Necesitamos esta pasarela para comunicarnos con él.



Figura 5.5: Conectarse al punto de acceso WiFi emitido por el dron

5.3.6. Ejecución

El fichero descargado en el ordenador permitirá ejecutar el programa y que conecte con el Tello, como este fichero es diferente para cada uno de los sistemas operativos, el proceso que hay que seguir para ejecutarlo no es el mismo. A continuación se describe cual es el proceso de ejecución para cada uno de los sistemas operativos:

- **Ejecución Linux.**

1. Se descargará un ejecutable en el ordenador anfitrión. Este ejecutable es autocontenido, incluye el intérprete de Python, el código del usuario, el driver del Tello y todas las bibliotecas necesarias.
2. Dirigirse al directorio donde se descargo, darle permisos de ejecución y ejecutarlo (Fragmento 5.4).

```
chmod +x send_code.sh &&
./send_code.sh
```

Fragmento 5.4: Comandos para ejecución del envío en MacOS

■ Ejecución en Windows.

1. Se descargará un fichero comprimido. Este fichero comprimido contiene el código del usuario y todas las bibliotecas necesarias, no contiene el intérprete de Python.
2. Descomprimir el fichero y dirigirse a directorio extraído.

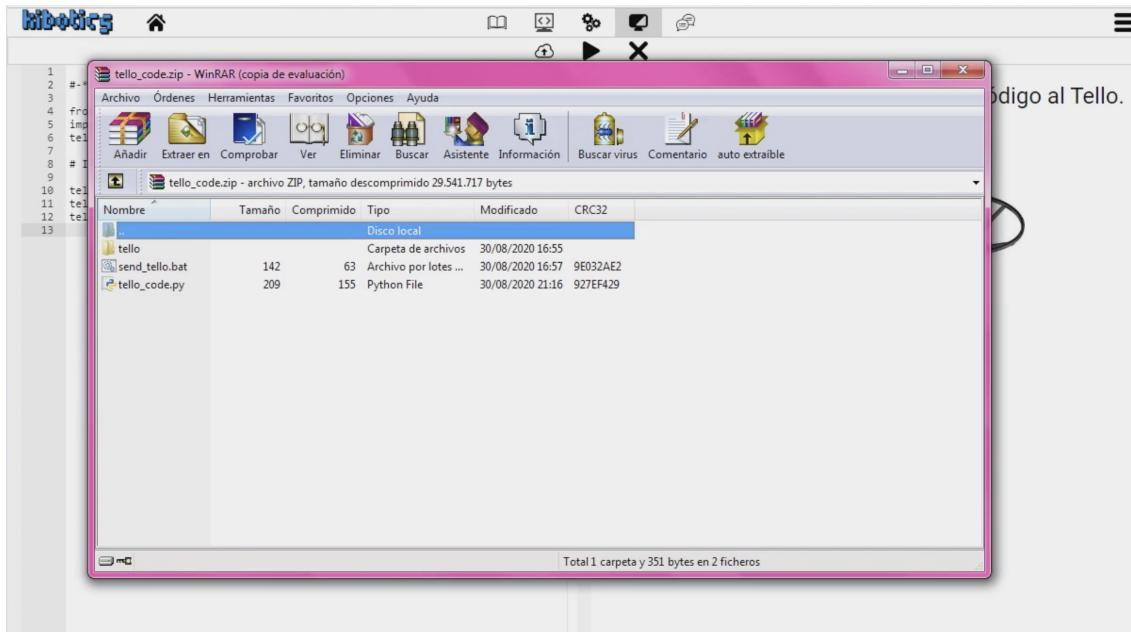


Figura 5.6: Descompresión en Windows

3. Haciendo doble “click” en el ejecutable send_tello.bat, el programa se ejecutará y establecerá conexión con el Tello.

■ Ejecución en MacOS.

1. Se descargará un fichero comprimido. Este fichero comprimido contiene el código del usuario y todas las bibliotecas necesarias, no contiene el intérprete de Python.
2. Descomprimir el fichero y dirigirse a directorio extraído.
3. Dentro del directorio se encuentra un fichero ejecutable llamado ”send_code.sh”, al que se tendrá que dar permisos de ejecución y, posteriormente, lanzarlo para ejecutar el

programa y que conecte con el dron (Fragmento 5.5).

```
chmod +x send_code.sh &&
./send_code.sh
```

Fragmento 5.5: Comandos para ejecución del envío en MacOS

5.4. Lado servidor

Como ocurría en el Mbot, el servidor de Kibotics, además de ser el responsable de servir las páginas, también es el encargado de adaptar el código que ha escrito el usuario para que el programa pueda ser ejecutado.

En este caso, la adaptación consiste en realizar un empaquetado que será devuelto al navegador. En los siguientes apartados se describen los pasos seguidos para conseguirlo.

5.4.1. Recepción del código fuente

Una vez que el usuario ha escrito el programa y se ha iniciado el proceso de envío, el navegador envía el código creado por el usuario al servidor. Este extrae dicho código del *query parameter* de la petición recibida (Fragmento 5.6).

```
def get_code_to_tello(request):
    ...
    python_code = json.loads(request.GET.get('python_code', None))
    ...
```

Fragmento 5.6: Extracción del programa fuente en el servidor

5.4.2. Empaquetado

El dron Tello entiende el lenguaje Python, y como el código extraído ya se encuentra escrito en este lenguaje, no será necesario realizar ninguna conversión. Por lo tanto, una vez extraído el código se procede a su empaquetado, que será diferente en función del sistema operativo utilizado por el usuario.

- **Linux.** El empaquetado consistirá en realizar un ejecutable que contenga todas las dependencias necesarias para el envío. Esto es posible gracias a una librería de Python llamada **PyInstaller**, un módulo que permite empaquetar ficheros Python, generando así un ejecutable autocontenido e incluyendo dentro del propio ejecutable el intérprete de Python. **PyInstaller** no permite una “compilación cruzada”, es decir, si este empaquetado se realiza en una máquina Linux, el ejecutable solo podrá utilizarse en una máquina Linux. Debido a esto, la integración para el dron Tello varía según el sistema operativo; como el servidor de

Kibotics está alojado en una máquina **Linux**, solo los usuarios de **Linux** se beneficiarán de esta utilidad.

```
def create_executable_with_pyinstaller(exercise_path):  
  
    call('. kibotics-drivers/tello/tello-env/bin/activate;  
        pyinstaller -F --distpath ' +  
        exercise_path + 'dist --workpath ' + exercise_path + ''  
        'build --specpath ' + exercise_path + ' --clean ' +  
        exercise_path +  
        'tello_code.py', shell=True)  
    . . .
```

Fragmento 5.7: Creación ejecutable con PyInstaller

- **Windows y MacOS.** El proceso es similar en ambos, pero diferente al caso anterior. Se empaqueta el programa con el directorio que engloba todas las librerías y las dependencias necesarias y que, además, contiene el ejecutable .bat (en **Windows**) o .sh (en **MacOS**) que se encargará del envío (Fragmento 5.8). Además la única diferencia entre ambos, es que al necesitar dependencias específicas de cada sistema operativo (el driver nativo del Tello en **Windows** es distinto del driver nativo del Tello en **MacOS**), se utilizan directorios diferentes en el empaquetado.

```
if operative_system == 'Mac':  
    shutil.move(exercise_dir + "tello_code.py", os.getcwd() +  
                "/kibotics-drivers/tello/MacOS")  
    shutil.make_archive('output-tello-mac', 'zip', os.getcwd()  
                       + "/kibotics-drivers/tello/MacOS")  
  
elif operative_system == 'Windows':  
    shutil.move(exercise_dir + "tello_code.py", os.getcwd() +  
                "/kibotics-drivers/tello/Windows")  
    shutil.make_archive('output-tello-windows', 'zip', os.  
                       getcwd() + "/kibotics-drivers/tello/Windows")
```

Fragmento 5.8: Creación empaquetado y respuesta en Windows y MacOS

5.4.3. Envío del empaquetado

Una vez generado el empaquetado, ejecutable en **Linux** y fichero comprimido en **MacOS** y **Windows**, se devuelve al navegador en la respuesta a la petición que envió. Esto permitirá que sea descargado en el ordenador del usuario y pueda ejecutarlo, consiguiendo así que el programa ejecute con el dron Tello.

```
create_executable_with_pyinstaller(exercise_path)
```

```

response = FileResponse(open(exercise_path + "dist/tello_code", 'rb'))
    ), content_type='application/octet-stream')
shutil.rmtree(exercise_dir + "dist/")
shutil.rmtree(exercise_dir + "build/")
os.remove(exercise_dir + "tello_code.spec")

```

Fragmento 5.9: Respuesta a la petición para Linux

```

if operative_system == 'Mac':
    . .
    with open('output-tello-mac.zip', 'rb') as f:
        response = HttpResponse(f, content_type=guess_type('output-
            tello-mac.zip')[0])
        response['Content-Length'] = len(response.content)
        os.remove('output-tello-mac.zip')

elif operative_system == 'Windows':
    . .
    shutil.move(exercise_dir + "tello_code.py", os.getcwd() + "/"
        kibotics-drivers/tello/Windows")
    shutil.make_archive('output-tello-windows', 'zip', os.getcwd()
        + "/kibotics-drivers/tello/Windows")
    os.remove(os.getcwd() + "/kibotics-drivers/tello/Windows/
        tello_code.py")
    with open('output-tello-windows.zip', 'rb') as f:
        response = HttpResponse(f, content_type=guess_type('output-
            tello-windows.zip')[0])
        response['Content-Length'] = len(response.content)
        os.remove('output-tello-windows.zip')

```

Fragmento 5.10: Creación empaquetado y respuesta en Windows y MacOS

5.5. Validación experimental

La tecnología utilizada en este caso es distinta a la del Mbot debido a las diferencias en las controladoras del robot; con la placa **mCore**, el control sobre ella es mayor, mientras que en la que utiliza el Tello no tenemos ningún control ni se puede enviar nada para su ejecución a bordo. El programa ejecuta en el ordenador anfitrión y se comunica continuamente con el propio Tello durante esa ejecución.

Otro aspecto importante es que para esa comunicación con el Tello se necesita una pasarela, es decir, para poder comunicarnos con él necesitamos conectarnos al punto de acceso *WiFi* que despliega el propio dron, por lo que no es posible un envío directo desde el navegador, algo que sí se podía hacer en el Mbot con **Web Serial**.

Por otro lado, la tecnología **PyInstaller** permite que el usuario interaccione con el dron sin necesidad de instalar previamente nada en el ordenador anfitrión, y también simplifica lanzar el ejecutable descargado. El problema que surge es que, con la restricción de compilación cruzada, este proceso solo es factible para **Linux**, ya que el servidor de Kibotics, que es el encargado de preparar el ejecutable, está alojado en una máquina **Linux**.

Para **Windows** y **MacOS** la situación cambia completamente. El usuario sí necesita tener instalado en su ordenador el intérprete **Python2.7** y los *drivers* para poder usar el Tello, aunque en **MacOS** el ejecutable de envío será el que lo instale si el usuario no lo tiene, facilitando, por tanto, su uso. Además, el envío del programa no es tan directo, ya que en primer lugar hay que descomprimir el fichero descargado, que tiene las dependencias necesarias para el envío y, después, se lanza el ejecutable.

Para la validación experimental del sistema creado se ha probado en diferentes sistemas operativos (**Ubuntu 18.04**, **Ubuntu 16.04**, **Windows 10**, **Windows 7**, **MacOS Catalina Versión 10.15.6**, **MacOS Mojave Versión 10.14.6**) y navegadores (**Safari Versión 14.0**, **Google Chrome Versión 85.0**, **Firefox Versión 68.9**), verificando así satisfactoriamente que la integración permite ser multiplataforma.

Por último, en lo siguientes punteros a vídeos, se muestra un ejemplo de realización y ejecución de un programa con el dron Tello, para los principales sistemas operativos, desde la plataforma de Kibotics.

- **Linux:** https://www.youtube.com/watch?v=b_msB5vBw4A&t=8s
- **Windows:** <https://youtu.be/vfRo9dGXbBw>
- **MacOS:** https://youtu.be/SAa1X08Cp_o

En la figura 5.7 se muestran unos fotogramas correspondientes al vídeo de ejemplo para el Tello en **Linux**. El primer paso consiste en realizar el ejercicio deseado. Y posteriormente pulsar el botón para descargar el empaquetado. Nos conectamos al punto de acceso *WiFi* creado por el dron y una vez que tenemos abierta esta pasarela de comunicación, lanzamos el ejecutable. Este ejemplo será diferente en el caso de **Windows** y **MacOS**.

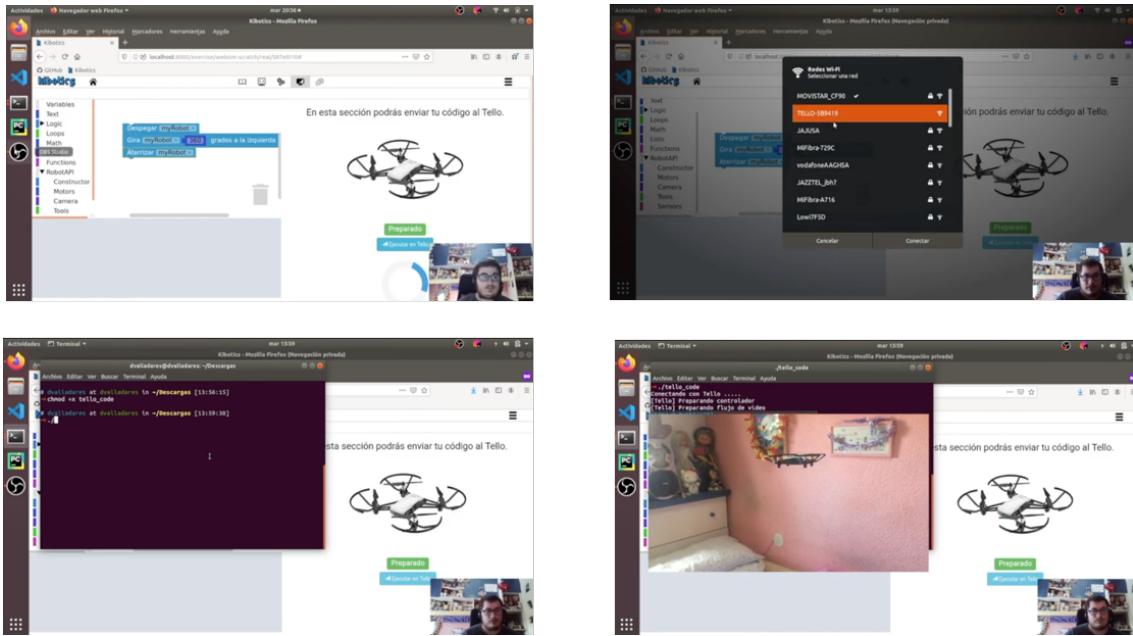


Figura 5.7: Fotogramas del vídeo de ejemplo de realización de un programa para el Tello en Linux

Capítulo 6

Integración del robot GoPiGo3

Al igual que en los capítulos anteriores, mostraremos cuál ha sido el desarrollo realizado para llevar, en este caso, el robot GopiGo3 a la plataforma Kibotics, lo que permitirá su programación.

6.1. Características del Robot GoPiGo3

GoPiGo es un robot fabricado por Dexter Industries¹, que pretende integrar la Raspberry Pi en los robots, dotándoles así de una mayor capacidad y flexibilidad. Actualmente se encuentra en su versión GoPiGo3, que consiste en un kit robótico con forma de vehículo (Figura 6.1).



Figura 6.1: Diseño hardware del GopiGo3

¹<https://www.dexterindustries.com>

Entre las características del *hardware* del GoPiGo3 destaca su cuerpo, que consiste en un acrílico grueso. Requiere un voltaje de entre 7-12V, consegurable con una batería a pilas. Dispone de una placa llamada “GoPiGo3”, que se conecta a la Raspberry Pi. La comunicación con la controladora se produce a través de la interfaz SPI (*Serial Peripheral Interface*). Incluye dos motores para conectarlo a las ruedas, las cuales tienen 66,5 mm de diámetro. También dispone de codificadores electrónicos, que se conectan a los motores para mejorar la movilidad. Respecto a las interfaces externas, destacan los dos puertos I2C (*Inter-Integrated Circuit*) y los puertos serie que están acoplados a los pines de la Raspberry Pi (Dexter Industries, 2020).

Dexter Industries también ha desarrollado DexterOS, que incluye el *software* necesario para que la Raspberry Pi funcione con GoPiGo3 (Dexter Industries, 2020). DexterOS se distribuye mediante una SD (*Secure Digital*) de 8GB que se inserta en la ranura de la Raspberry Pi. Este *software* emite una señal *WiFi* que, una vez que el usuario se ha conectado a ese punto de acceso, al acceder al navegador se obtiene una web que permite interactuar con el robot sin necesidad de realizar ninguna descarga previa en el ordenador (Figura 6.2).

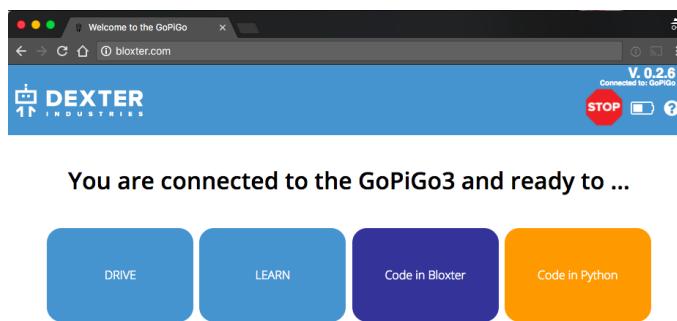


Figura 6.2: Software para GoPiGo3

Esta web dispone de cuatro módulos. El primero incluye lecciones integradas para aprender a programar el GoPiGo3 y algunos conceptos sobre los sensores de los que dispone. Otro módulo ofrece la posibilidad de conducir el GoPiGo3 de forma remota. Los otros dos módulos sirven como editores para programar el robot, de manera que uno de ellos permite programarlo mediante un lenguaje basado en bloques llamado Bloxter (Figura 6.3), muy similar a Blockly y diseñado por la propia empresa, mientras que el otro sirve para programarlo en Python (Dexter Industries, 2020). También han creado librerías que facilitan su programación para este lenguaje (una de ellas se llama EasyGoPiGo3).

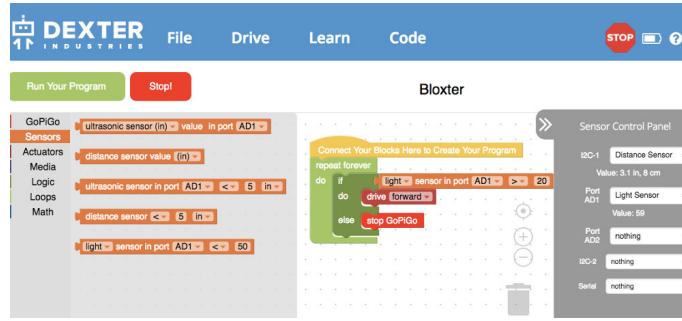


Figura 6.3: Editor para el lenguaje Bloxter

6.2. Diseño

La figura 6.4 muestra el diseño seguido para integrar el GoPiGo3 real a la plataforma Kibotics. En comparación con el diseño para los dos robots anteriores, en este caso se utiliza un servidor adicional **Flask** que permitirá la recepción del programa en el robot en su procesador Raspberry Pi.

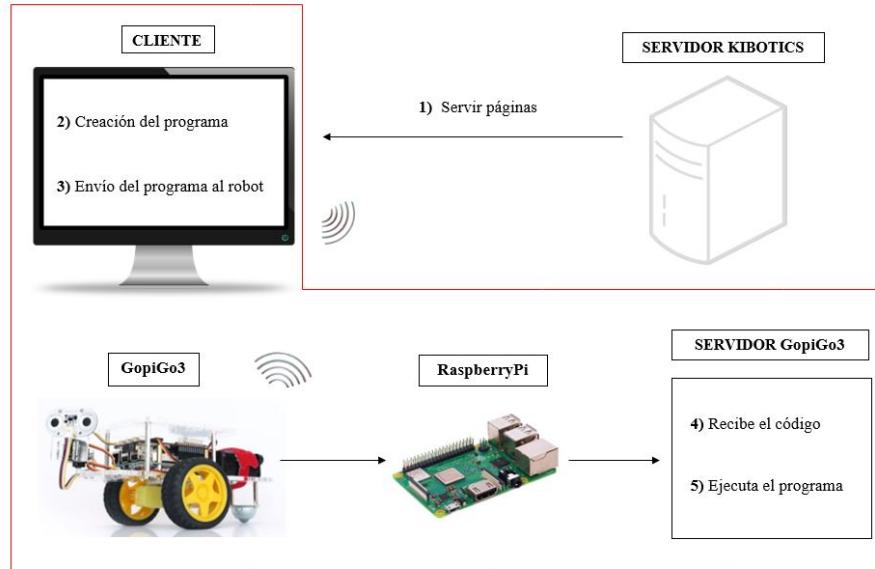


Figura 6.4: Diseño para la integración del GoPiGo3. La línea roja indica los componentes que deben estar conectados a la misma red WiFi

El proceso consta de 5 pasos y en las siguientes secciones se profundizará en cada una de las partes y en las interacciones necesarias entre el cliente, el servidor de Kibotics y el servidor **Flask** de la

Raspberry Pi, que permitirá programar al GoPiGo3 desde el navegador web usando Kibotics.

6.3. Lado Cliente

En la parrilla de unidades de Kibotics, se pueden encontrar varios ejercicios dedicados al GoPiGo3 para Python. Actualmente solo está disponible para este lenguaje.

En una de secciones del ejercicio se proporciona información al usuario sobre cómo realizar el envío, así como de las instalaciones que deben realizar. En este caso solo tiene que hacer instalaciones en la Raspberry Pi del robot, ya que en el ordenador del anfitrión no es necesaria ninguna instalación. En el fragmento 6.1 se muestran los detalles de cómo se ha diseñado esta sección.

```
<html>
<head>
<meta charset='UTF-8'><meta name='viewport' content='width=device-width
initial-scale=1'>
<title>GoPiGo3</title></head>
<body><h1>GoPiGo3 example</h1>
<p>Podras realizar tu programa para enviarselo al GoPiGo.</p>
<p></p>

<h2>1 - Instalacion </h2>
<ul>
<li type="circle">
<h4> <b>En la Raspberry Pi 3 del GoPiGo3:</b> </h4>
<ol start='1' >
<li>
    Descargar el siguiente fichero comprimido => <a href="{% static
'python/PRMbo009/install/configuracion_GoPiGo.zip' %}" target="
_blank">Intalador</a>
</li>
<li>
    Descomprimir el Zip descargado y situarlo en el directorio /home/
pi/
</li>
<li>
    Ir al directorio e instalar los drivers necesario , para ello abrir
    un terminal y ejecutar
</li>
<ol start='1' >
<li>
    <code>chmod +x instalar_drivers_GoPiGo.sh</code>
</li>
<li>
```

```

<code>./instalar_drivers_GoPiGo.sh</code>
</li>
</ol>
<li>
    Agregar la instruccion que permite levantar siempre el servidor al
    encenderse la Raspberry , para ello dirigirse al directorio y
    abrir un terminal:</li>
<ol start='1' >
    <li>
        Ejecutar => <code>chmod +x iniciar_servidor_GoPiGo.sh</code>
    </li>
    <li>
        Abrir el servicio cron => <code>crontab -e</code>
    </li>
    <li>
        Agregar la tarea <code> @reboot /home/pi/configuracion_GoPiGo/
            iniciar_servidor_GoPiGo.sh &</code>
    </li>
</ol>
</li>
<li type="circle">
    <h4> <b>En el ordenador MacOS/Linux/Windows:</b> </h4>
    <p>No es necesaria ningun tipo de instalacion adicional para el
        funcionamiento.</p>
</li>
</ul>

<h2>2 – Ejecucion</h2>
<ol start='' >
    <li>
        Realice su programa
    </li>
    <li>
        Encienda el GoPiGo y asegurate de que esta conectado a el WiFi.
    </li>
    <li>
        Pulse en <b>Enviar</b>, si todo ha ido bien se cargara el programa
        en el GoPiGo3.
    </li>
</ol>
</body>
</html>

```

Fragmento 6.1: Página de información del GoPiGo3

6.3.1. Editor en el navegador web

Para escribir un programa y enviarlo al robot desde el lado del cliente, otra sección de la página web del ejercicio proporciona un editor donde el usuario podrá escribir su programa utilizando el lenguaje Python. En el editor se importa la librería “EasyGoPigo3” (Dexter Industries, 2018), que proporciona una API para interactuar con los sensores y actuadores del robot (Figura 6.5).

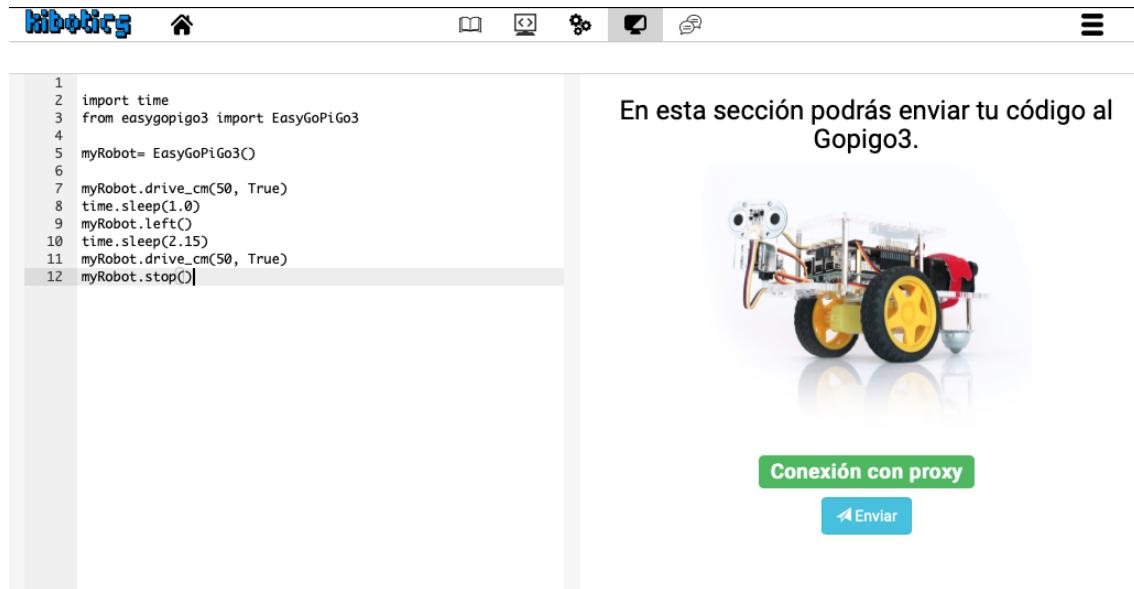


Figura 6.5: Editor python para el GoPiGo3

6.3.2. Envío del código al servidor Flask en el robot

Una vez que el usuario ha escrito el programa deseado, deberá pulsar el botón “Enviar” que puede verse en la figura 6.5, el cual desencadenará todo el proceso de envío. En el fragmento 6.2 se muestra cuál es el código HTML que permite iniciar este proceso.

```
<center><h3>En esta seccion podras enviar tu codigo al GoPiGo3.</h3></center>

<div class="text-center">
    
</div>
```

```

<div id="text" class="text-center">
    <h3><span id="proxy_state" class="label label-success">Conexion con
        proxy</span></h3>
    <button type="button" id="send_mbot" class="btn btn-info" onclick="
        send_code_to_GoPiGo()">
        <span class="glyphicon glyphicon-send"></span> Enviar
    </button>
</div>

```

Fragmento 6.2: Sección para el envío

Tras pulsar el botón de envío, desde el navegador se manda al servidor **Flask** levantado en la Raspberry Pi del robot, el código del programa que se había escrito previamente en el editor. Este código se envía como un *query parameter* de una petición GET haciendo uso de la función **fetch()**, de forma similar que en los capítulos anteriores.

```

function send_code_to_GoPiGo() {
    var editor = ace.edit("ace");
    let code = editor.getValue();
    console.log(code);
    const message = {
        method: "GET"
    };
    url = 'http://192.168.1.200:8001/run?python_code=' + JSON.stringify(
        code);
    fetch(url, message)
        .then(function(response) {
            if(response.ok){
                responseOk = true
            } else{
                responseOk = false
            }
            return response.text();
        })
        .then(function(data) {
            if(responseOk){
                console.log("Ok")
            } else{
                console.log("Send Fail")
            }
        })
        .catch(function(err) {
            console.error(err);
        });
}

```

Fragmento 6.3: Función de envío del código al servidor del GopiGo3

El servidor `Flask` recibirá el código y realizará una serie de acciones (sección 6.5) que permitirán cargar el programa al robot.

6.4. Lado Servidor Kibotics

Este servidor no toma un papel tan importante para el proceso de envío del programa al GoPiGo3 como sí lo tenía para el Mbot y el dron Tello. En ellos, además de servir las páginas necesarias al navegador que permiten ir al ejercicio concreto del robot, a la sección de información o al editor, era el encargado de manipular el código fuente, de crear el ejecutable o de realizar el empaquetado que se enviaba al robot.

En este diseño, una vez que el código está escrito en el editor web, es enviado al servidor de kibotics para el guardado del ejercicio del usuario y al servidor `Flask` del robot para procesarlo y ejecutarlo.

6.5. Lado GoPiGo3

La Raspberry Pi del GoPiGo3 toma un papel muy importante en el proceso de envío del programa al robot, puesto que en ella se tendrá montado un servidor `Flask` HTTP, que recibirá las peticiones del cliente y contendrá la lógica para la ejecución del programa recibido.

A diferencia del ordenador anfitrión, donde no se requería ninguna instalación para el envío del programa, en la Raspberry Pi sí hay que realizar unas instalaciones previas para poder utilizarse en el GoPiGo3.

6.5.1. Preparación del ordenador a bordo del GoPiGo3

La preparación de la Raspberry Pi requiere una serie de procesos.

1. Instalar sistema operativo

La Raspberry Pi necesita un sistema operativo. Aunque existen varios que puede soportar, se debe utilizar `Raspbian`, un sistema operativo optimizado para ella y basado en Debian, una distribución GNU/Linux.

2. Instalación de los drivers y configuración

Se deben instalar los *drivers* y las librerías necesarias para que pueda interactuar con los sensores y actuadores del robot GoPiGo3. También es indispensable que esté conectada a la misma red *WiFi* que el ordenador anfitrión, así como tener asignada la IP (Protocolo de Internet) fija 192.168.1.200. Si esto no se cumple, cada vez que se encienda la Raspberry Pi, tendrá una IP distinta y no podrá realizarse el envío.

En la página de información del ejercicio para el GoPiGo3 en Kibotics se le proporciona al usuario un fichero comprimido que contiene un ejecutable que instalará los *drivers* y configurará la IP fija, evitando así que sea el usuario quien tenga que hacerlo (Fragmento 6.4).

```
#!/bin/bash

##### Instalacion GoPiGo3 #####
echo "Instalando GoPiGo3"
curl -kL dexterindustries.com/update_GoPiGo3 | bash

echo "Instalacion GoPiGo3 completa"

##### Actualizar el firmware GoPiGo3 #####
echo "Actualizando firmware de GoPiGo3"

mv ~/Dexter/GoPiGo3/Firmware/archives/GoPiGo3_Firmware_0.3.4.bin
~/Dexter/GoPiGo3/Firmware/
rm ~/Dexter/GoPiGo3/Firmware/GoPiGo3.Firmware_1.0.0.bin
chmod +x ~/Dexter/GoPiGo3/Firmware/GoPiGo3_flash_firmware.sh
bash ~/Dexter/GoPiGo3/Firmware/GoPiGo3_flash_firmware.sh

echo "Finalizada actualizacion firmware para GoPiGo3"

##### Crear entorno virtual #####
echo "Creando entorno virtual python3"

python3 -m venv ~/.virtualenvs/GoPiGo
source ~/.virtualenvs/GoPiGo/bin/activate
pip install GoPiGo3
pip install numpy
pip install pandas
pip install Flask
deactivate

echo "Finalizado Creacion de entorno virtual"

### Configurar ip estatica ###
echo "Configurando ip estatica"

sudo service dhcpcd status
```

```

sudo service dhcpcd start
sudo systemctl enable dhcpcd

echo -e "\ninterface wlan0\nstatic ip_address=192.168.1.200/24\
      static routers=192.168.1.1\nstatic domain_name_servers
      =192.168.1.1" >> /etc/dhcpcd.conf

echo "Configurada ip estatica"

echo "#####
echo "## Proceso Completado ##"
echo "#####

read -p "Necesitas reiniciar. Quieres tu reiniciar la maquina? [y
/n]: " restart
if [ "$restart" = "y" ]; then
    sudo reboot
fi

```

Fragmento 6.4: Ejecutable para la instalación y configuración de la Raspberry Pi

3. Montaje del servidor Flask

El fichero comprimido también contiene el código fuente que permite crear el servidor HTTP. El servidor se ha desarrollado con el lenguaje **Python** y haciendo uso de **Flask**, un entorno escrito en **Python** que permite crear servidores webs.

Es necesario que este servidor se lance una vez que se encienda la Raspberry Pi de manera automática, ya que si no, es el usuario quien tendría que lanzarlo cada vez que se encienda. Para ello hacemos uso del servicio **cron**, un administrador de tareas en **Linux** que permite programar el lanzamiento de comandos en un determinado momento (Dinahosting, s.f.).

Para programar el lanzamiento del servidor de manera automática al encenderse el robot, el usuario deberá realizar las siguientes acciones:

- a) Descomprimir el fichero descargado en el directorio */home/pi/* y dar permiso de ejecución al ejecutable *iniciar_servidor_GoPiGo.sh*
- b) Abrir un terminal y ejecutar: *crontab -e*
- c) Añadir la tarea: *@reboot /home/pi/configuración_GoPiGo/iniciar_servidor_GoPiGo.sh*
- d) Reiniciar el servicio cron: *sudo /etc/init.d/cron restart*

6.5.2. Recepción a bordo del código fuente

El servidor **Flask** del GoPiGo3 recibe la petición del navegador con el código extraído del editor, donde el usuario escribió el programa.

```

exercice = None
@app.route( '/ run' , methods=[ "GET" ])
def run_program():
    global exercice
    code = request.args.get( 'python_code' )
    . .

```

Fragmento 6.5: Extracción del código en el servidor del GoPiGo3

6.5.3. Creación del proceso que ejecuta la aplicación robótica

El robot GoPiGo3 entiende el lenguaje Python porque tiene un intérprete de Python ya instalado, de manera que una vez extraído el código del usuario, no es necesario realizar ningún tipo de conversión.

Se tiene que crear un proceso que ejecute el código recibido. Para ello es necesario crear un ejecutable Python (extensión .py) y empotrarle el código extraído. Podría ocurrir que el robot ya estuviera ejecutando un programa, por lo que antes de lanzar el nuevo programa, se tiene que verificar si ya se está ejecutando otro en él y, en tal caso, “matar” al proceso que lo ejecuta.

Tras ejecutar el programa en un nuevo proceso, el robot realizará las instrucciones que el usuario programó en el editor del navegador web.

```

# Stop process have already up
if exercice:
    try:
        os.killpg(os.getpgid(exercice.pid), signal.SIGKILL)
    except ProcessLookupError:
        pass

time.sleep(2)

# Create exercice.py
code = code[1:-1].split("\n")
fdOut = open("./ejercicio.py", "w")
for line in code:
    fdOut.write(line + "\n")

# Run process
exercice = subprocess.Popen(["python", "ejercicio.py"], stdout=subprocess.PIPE, preexec_fn=os.setsid)

```

Fragmento 6.6: Creación del proceso con el programa para el robot

6.6. Validación experimental

Una vez mostrado el diseño que permite programar el GoPiGo3 desde la plataforma Kibotics, podemos observar la flexibilidad y operatividad que tiene este robot gracias a la Raspberry Pi que lleva integrada.

Una de las ventajas que ofrece este diseño es que el proceso de envío es independiente del sistema operativo que utiliza el usuario. Esto es posible porque el programa se escribe en el navegador y se envía directamente al servidor **Flask** montado en el robot, consiguiendo así que el diseño, además de ser multiplataforma, sea “cero-instalación” para el ordenador del anfitrión.

En cuanto al robot, al ser necesaria una preparación previa, puede ser algo más complejo para los usuarios de menor edad o que acaban de iniciarse en la informática. Por ello, se proporcionan ejecutables (mencionados en la sección 6.5.1), encargados de la instalación e instrucciones para minimizar y facilitar este proceso.

Por otro lado, la integración del GoPiGo3 ha sido probada tanto para diferentes sistemas operativos (**Ubuntu 18.04**, **Ubuntu 16.04**, **Windows 10**, **Windows 7**, **MacOS Catalina Versión 10.15.6**, **MacOS Mojave Versión 10.14.6**), así como en diferentes navegadores (**Safari Versión 14.0**, **Google Chrome Versión 85.0**, **Firefox Versión 68.9**).

En los siguientes punteros a videos se puede visualizar un ejemplo de realización de un programa y envío al GoPiGo3 desde la plataforma Kibotics:

- **MacOS:** <https://youtu.be/ziuRS14VhIM>
- **Windows:** https://youtu.be/R7S6J35FT_A
- **Linux:** <https://youtu.be/l5Qtx3Ne8Cw>

En la figura 6.6 se muestran varios fotogramas del vídeo de ejemplo para el proceso de envío de un programa al GoPiGo3 en **MacOS**. El primer paso es realizar el programa deseado. Posteriormente, al pulsar en el botón de enviar, el programa se ejecuta en el robot. Este proceso sería similar para **Linux** y **Windows**.

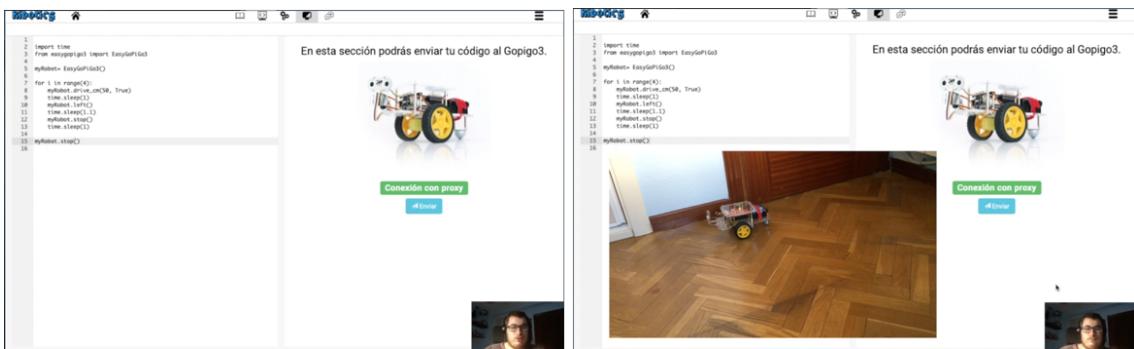


Figura 6.6: Fotogramas del vídeo de ejemplo de realización de un programa para el GoPiGo3 en Mac OS

Capítulo 7

Conclusiones

Tras explicar los objetivos, herramientas, etapas y procesos necesarios para llevar a cabo el desarrollo de este TFG, finalmente en este capítulo se especificarán las conclusiones principales y las posibles líneas de investigación futuras derivadas de este proyecto.

7.0.1. Conclusiones

Una vez que se ha analizado el trabajo realizado, se puede afirmar que sí se cumple el objetivo principal planteado, pues hemos conseguido llevar los robots Mbot, Tello y GopiGo3 a la plataforma Kibotics y programarlos desde ella.

Por otro lado, también podríamos decir que se cumple el primer objetivo específico mencionado en el capítulo 2, ya que se ha conseguido que las integraciones de los robots sean multiplataforma, de manera que ahora todos ellos se pueden programar con **Linux**, **Windows** y **MacOS**. Respecto al segundo subobjetivo, sí se ha conseguido facilitar el proceso de envío en todos los casos, aunque por las propias características de los robots, en algunos casos se necesitan instalaciones previas:

- En el Mbot, gracias a la tecnología **Web Serial** se ha conseguido que el usuario no necesite hacer ninguna instalación ni configuración previa para utilizar el robot. Además, el envío se ha simplificado mucho, pues el ejercicio se envía directamente al robot una vez que el usuario lo haya realizado. Este proceso es similar en los tres sistemas operativos.
- En el dron Tello, el proceso de envío no es tan directo como en el caso anterior, lo que se debe, en gran parte, a que no se tiene ningún tipo de control sobre la controladora del robot y a que para comunicarse con el dron hay que estar conectado al **WiFi** que emite. Por otra parte, también hay diferencias entre los sistemas operativos; en **Linux** sí se ha conseguido que el usuario no tenga que hacer ninguna instalación en el ordenador, y el envío del programa se limita a lanzar un ejecutable que comunicará con el Tello. En el caso de **Windows** y **MacOS** se necesita que el usuario tenga instalado unos requisitos en su ordenador, pero en el caso de **MacOS** se ha diseñado un ejecutable que le facilita todas las instalaciones y configuraciones necesarias.
- En el GopiGo3 se necesita una preparación previa en el robot, pero esto se debe a que al llevar integrada una Raspberry Pi hay que instalar los *drivers* para configurarla con el robot

y preparar el servidor alojado en él. Esto permite comunicarnos desde otros dispositivos con él. Para facilitar esta preparación, se le ha proporcionado al usuario unos ejecutables que instalarán y configurarán todo lo necesario. En el caso del ordenador del usuario, no se necesita una instalación previa y el proceso de envío es directo para cualquiera de los sistemas operativos gracias al servidor montado en el robot.

Por otro lado, el proceso de elaboración de este TFG ha permitido estudiar en profundidad diferentes ámbitos de la robótica y de la informática gracias al manejo de los tres robots y a la necesidad de que sean multiplataforma. Entre las nuevas competencias adquiridas, destacan los siguientes puntos:

- Introducción en la Robótica Educativa y aspectos del *hardware* y *software* de los robots utilizados.
- Profundizar en el manejo de lenguajes de programación (**Python**, **JavaScript**, **Shell**).
- Adquirir conocimientos en desarrollo web utilizando **HTML**, **Bootstrap**, **Django** y **Flask**.
- Mejorar la formación sobre los sistemas operativos **Linux**, **Windows**, **MacOS** y **Raspbian**.
- Aprender el manejo de una **Raspberry Pi**.
- Estudiar las tecnologías **Web Serial**, **PyInstaller**.
- Mejorar la habilidad sobre el desarrollo de software, así como **Git** y **GitLab**.
- Aprender el manejo de **Latex**, la aplicación utilizada para la redacción de este TFG

7.0.2. Líneas futuras

Con la realización de este TFG surgen una serie de líneas de investigación futuras que pueden resultar útiles para seguir mejorando la plataforma de Kibotics.

En primer lugar, la tecnología **Web Serial** abre un camino bastante interesante al permitir una comunicación con dispositivos conectados al puerto serie vía web. Con ella puede utilizarse para comunicarse directamente desde el navegador, consiguiendo así que sea multiplataforma. Existen muchos dispositivos que necesitan una conexión USB, por lo que esta opción sería una buena forma de comunicación con ellos.

Por otro lado, en el caso del GopiGo3, el hecho de tener un ordenador instalado va a permitir realizar muchas acciones en este robot. Actualmente solo está disponible en **Python**, por lo que una línea de investigación podría centrarse en adaptar su uso al lenguaje **Blockly** para que puedan utilizarlo niños de menor edad. Además, la potencia que presenta este robot posibilita el diseño de ejercicios muy interesantes, por ejemplo, si le instalamos una cámara, el robot sería capaz de realizar ejercicios de visión artificial.

Capítulo 8

Bibliografía

Báez, M.; Bongiovanni, P.; Castrillejo, D.; García, J. M.; Leal, D.; Levis, D.; Lugo, M. T.; Maguregui, C.; Ochoa, G.; Peña-López, I.; Pisano, R.; Rabajoli, G.; Rivoir, A.; Sansberro, F.; Turner, N.; Vacca, A. M.; Vaillant, D. (2011). *El modelo CEIBAL. Nuevas tendencias para el aprendizaje*. Uruguay: CEIBAL - ANEP.

Bravo, F. Á.; Forero, A. (2012). *La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales*. Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información 13(2): 120-139.

Castro, G. (6 de junio de 2019). *DJI Tello, un minidron de juguete, programable con un procesador potentísimo*. DronProfesional. Recuperado de <https://dronprofesional.com/blog/dji-tello-un-minidron-de-juguete-programable-con-un-procesador-potentisimo/>

Challenger, I.; Díaz, Y.; Becerra, R. A. (2014). *El lenguaje de programación Python*. Ciencias Holguín, 20(2): 1-13

Cumplido, A. (16 de febrero de 2018). *El origen de Bootstrap, el framework CSS líder*. Webtraining Blog. Recuperado de <https://blog.webtraining.zone/el-origen-de-bootstrap-el-framework-css-lider/>

Curso de iniciación a Python en Raspberry Pi. (2020). Recuperado 12 de septiembre de 2020, de Asociación Programo Ergo Sum website: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/244-iniciacion-a-python-en-raspberry-pi/que-es-python>

Dexter Industries (2020). *GopiGo3 is a RaspberryPi Robot Car for Learning Coding*. Recuperado el 27 de septiembre de 2020 de <https://www.dexterindustries.com/gopigo3/>

Dexter Industries (2018). 5.1. *About library and Hardware*. <https://gopigo3.readthedocs.io/en/master/api-basic/structure.html>

Dinahosting (s.f.). *¿Qué es cron y para qué sirve? - Ayuda de dinahosting*. <https://dinahosting.com/ayuda/como-configurar-tareas-cron-de-forma-manual/>

- Eguíluz, J. (2009). Introducción a JavaScript. Recuperado de <https://uniwebsidad.com/libros/javascript>
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad Politécnica de Valencia (18 de diciembre de 2013). Raspberry Pi. *Historia de la Informática*. Recuperado de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry/>
- González, J. J.; Jiménez, J. A. (2009). *La robótica como herramienta para la educación en ciencias e ingeniería*. IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa 10: 31-36.
- Guevara, A. (s.f.). *¿Qué es Bootstrap?*. Devcode. Recuperado de <https://devcode.la/blog/que-es-bootstrap/>
- Holovaty, A.; Kaplan-Moss, J. (2007). *El libro de Django*. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12051/django.pdf>
- Lamarca, M. J. (2018). *Hipertexto, el nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen*. <http://www.hipertexto.info/documentos/html.htm>
- Novapros (21 de abril de 2020). *¿Qué es Django framework y quienes lo usan?*. Novapros Blog. Recuperado de <https://novapros.es/blog/que-es-django-framework-y-quienes-lo-usan/>
- Moreno, I.; Muñoz, L.; Serracín, J. R.; Quintero, J.; Patiño, K. P.; Quiel, J. (2012). *La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías*. Teoría de la Educación. *Educación y Cultura en la Sociedad de la Información* 13(2): 74-90.
- PYPL PopularitY of Programming Language index. (2020). Recuperado 15 de septiembre de 2020, de PYPL PopularitY of Programming Language website: <http://pypl.github.io/PYPL.html>
- Quiroga, L. P. (2018). *La robótica: otra forma de aprender*. *Revista Educación y Pensamiento* 25(25): 51-64
- Raggett, D.; Le Hors, A.; Jacobs, I. (1999). HTML 4.01 Specification. W3C recommendation, 24.
- Robótica Educativa con Mbot. (2020). Recuperado 19 de septiembre de 2020, de Programo Ergo Sum website: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/robotica-educativa/249-robotica-educativa-con-mbot/que-es-mbot>
- Rodríguez, X. (21 de agosto de 2019). *Django vs Flask*. Openwebinars. Recuperado de <https://openwebinars.net/blog/django-vs-flask/>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. ¡<https://dle.rae.es>! [12 de septiembre de 2020].
- Ruiz-Velasco, E.; García, J. V.; Rosas, L. A. (2007). *Robótica pedagógica virtual para la inteligencia artificial*.

gencia colectiva. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Salamanca, M. L.; Barrera, N.; Pérez, W. J. (2010). *Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza.* Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D 10(1): 15-23.

Shannon, R. E. (1998, diciembre 13-16). *Introduction to the art and science of simulation.* In 1998 Winter Simulation Conference. Doi: 10.1109/WSC.1998.744890

SO Documentation (s.f.). *PyInstaller - Distribuir código de Python.* <https://sodocumentation.net/es/python/topic/2289-distribuir-codigo-de-python>

Valladares, D. (18 de diciembre de 2019). My blog. My TFG's blog. Recuperado de <https://roboticslaburjc.github.io/2019-tfg-david-valladares/>

Valladares, D. [David Valladares vigara]. (2020, Septiembre, 5). *Gopigo3 by WiFi* [Archivo de vídeo]. Recuperado de https://youtu.be/jHZ_GBflB5I

Valladares, D. [David Valladares vigara]. (2020, Septiembre,). *Gopigo3 by WiFi* [Archivo de vídeo]. Recuperado de

Valladares, D. [David Valladares vigara]. (2020, Septiembre,). *Gopigo3 by WiFi* [Archivo de vídeo]. Recuperado de

W3C Community Group (2020). *Serial Api Living document.* <https://wicg.github.io/serial/>

Zaforas, M. (2018). *¿Es Python el lenguaje del futuro?* Paradigma Digital. Recuperado de <https://www.paradigmadigital.es/python-el-lenguaje-del-futuro/>