



TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Lazarillo - Robot guía

Plataforma robótica de código abierto para uso general

Autor

Adrián Morente Gabaldón

Director

Juan José Ramos Muñoz



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Granada, septiembre de 2022

Lazarillo - Robot guía: Plataforma robótica de código abierto para uso general

Adrián Morente Gabaldón

Palabras clave: robot, embebido, *IoT*, *Linux*, web, C++

Resumen

Lazarillo se trata de una plataforma libre de código abierto pensada para provisionar un robot que actúa como guía de caminos para los visitantes que acuden a la ETSIIT.

Este dispositivo embebido consta de un sistema operativo hecho a medida además de diversas aplicaciones para su uso, e internamente una arquitectura software que permite extender sus funcionalidades a todos los desarrolladores interesados.

En cuanto a *IoT*, la plataforma consta de métodos de conectividad que permiten al dispositivo ser administrado por un técnico desde un portal web, pudiendo así realizar actualizaciones o gestiones varias.

Lazarillo - Robot guide: Open-source multipurpose robotic platform

Adrián Morente Gabaldón

Keywords: robot, embedded, *IoT*, *Linux*, web, C++

Abstract

Lazarillo is a free & open-source platform for provisioning a robot that shall behave as a path guide for the ETSIT's visitors.

This embedded device contains a custom-made operating system in addition to some assorted applications. Internally, it contains a software architecture that allows any interested developers to extend its functionalities.

Regarding *IoT*, the platform includes connectivity methods that make a technician able to manage or upgrade the device through a web portal.

Yo, **Adrián Morente Gabaldón**, alumno de la titulación Máster en Ingeniería Informática de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 77139229N, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Adrián Morente Gabaldón

Granada a 9 de septiembre de 2022.

Agradecimientos

Poner aquí agradecimientos...

Índice general

1. Introducción	13
2. Estado del arte	15
3. Especificación y requisitos	21
3.1. Requisitos generales	21
3.1.1. Licencias	21
3.1.2. Especificaciones	21
3.2. Objetivos opcionales	23
4. Implementación	25
4.1. Sistema operativo	25
4.2. Arquitectura de Lazarillo	26
4.2.1. Servicios internos	26
4.2.2. Componentes externos	26
5. Trabajos futuros	29
5.1. Sistema operativo	29
5.2. Servicios propios	29
5.3. Otros	29
6. Conclusiones	31

Capítulo 1

Introducción

Lazarillo se trata de una plataforma robótica abierta cuyo propósito es proporcionar una arquitectura solvente y extensible que permita añadir nuevas características y utilidades, además de facilitar el acceso a su gestión y mantenimiento.

Contiene un sistema operativo abierto basado en GNU/Linux y *The Yocto Project*, además de distintos servicios implementados con lenguajes de programación diferentes, mostrando así la interoperabilidad del software. Goza de conectividad inalámbrica, la cual facilita la conexión con herramientas externas para su gestión. Asimismo, el proyecto también consta de un panel web de administración desde el cual se pueden enviar acciones remotas al robot.

Aunque se trata de una plataforma extensible y de propósito múltiple, el uso inicial para el que fue ideado es el de actuar como **asistente** y **guía** dentro de un espacio cerrado (ya podemos ver que el título asignado al proyecto es un pequeño guiño a la literatura española). Sin embargo, el *stack* de herramientas y arquitectura que se han ido confeccionando durante su desarrollo, se podrían utilizar fácilmente para cualquier proyecto de propósito general que aúne dispositivos embebidos con *IoT* y administración remota de éstos.

Capítulo 2

Estado del arte

Dado que a lo largo de este documento estaremos hablando sobre dispositivos embebidos, *Internet de las cosas* y plataformas inteligentes (como robots), antes deberemos situarnos un poco en el contexto actual para revisar qué hay en el horizonte, teniendo en cuenta tanto software como hardware y limitaciones técnicas.

¿Qué es un “robot”?

Comencemos analizando la definición de la palabra **robot**, que según el *IEEE* (*Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos*, asociación mundial de expertos dedicada a la normalización del desarrollo en diversas áreas técnicas [1]), no *es algo fácil de definir*, pero una buena aproximación sería “una máquina autónoma capaz de percibir el entorno, realizando cálculos para la toma de decisiones y acciones que aplica en el mundo real” [2].

Un ejemplo de estos es la *Roomba* de la marca *iRobot*, la conocida aspiradora robótica que recorre las habitaciones de la casa de forma totalmente autónoma realizando una limpieza (más o menos a fondo) de ésta [3]. Los cálculos que realiza este dispositivo han de serle suficientes para recorrer la casa de forma eficiente, esquivando obstáculos y cubriendo la mayor superficie posible de la vivienda. Para este tipo de computaciones, un dispositivo robótico ha de valerse de sensores de proximidad (u otros), cámaras, etc.

Estas medidas de detección y reacción ante el entorno son también usadas por elementos de inteligencia artificial que sin embargo no llegan a ser considerados como “robots”. Podemos encontrar un ejemplo en el *Autopilot*, que es como llama la compañía automovilística de vehículos eléctricos *Tesla* a su sistema de conducción automática [4]. Los complejísimos algoritmos de **visión computacional** que tienen lugar en el vehículo a la hora de observar el entorno en busca de otros coches, peatones, señales y obstáculos; también pasan por un entrenamiento de modelos de inteligencia artificial intenso. La diferencia en el uso de estos, es que (al menos actualmente), aún no existe la conducción plenamente autónoma, y por seguridad aún se requiere que haya un conductor al volante. ¿Podríamos entonces establecer el límite entre lo que es un “robot” y

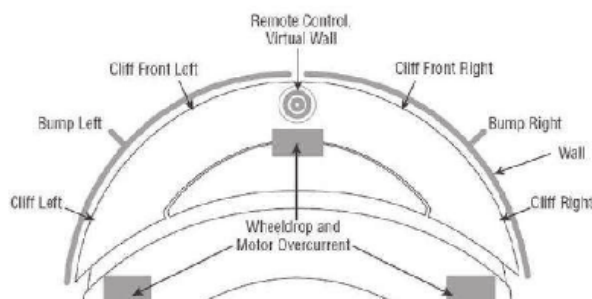


Figura 2.1: Ejemplo de sensores en una *Roomba* - Fuente: *ResearchGate* [?]

lo que no en función de si es necesaria la interacción humana?

Responder a ésto es siempre complejo pero interesante, así que me gustaría concluir esa pregunta volviendo al artículo de “What is a Robot?” del *IEEE* [2] con la divertida respuesta de *Joseph Engelberger*:

“No sé cómo definir un robot, ¡pero sé reconocer uno cuando lo veo!”

¿Qué necesito para hacer un robot?

Si quisiéramos crear un nuevo robot, son varios los campos de conocimiento que deberíamos tener en cuenta. Para empezar, la **electrónica** es algo esencial, ya que su base será la que permitirá controlar el movimiento del dispositivo a través de pulsos de corriente, además de dotarlo de los periféricos de detección y comunicación que hemos mencionado previamente. Por otro lado, el campo de la **informática** permitirá extender las funcionalidades de este robot dotándole de un sistema operativo y añadiendo aplicaciones sobre la capa abstracta tejida por la electrónica.

Si hablamos de hardware, podemos empezar por adquirir una plataforma móvil ya preparada para su uso. Lo primero que puede pensar cualquiera es tomar una como la *Roomba*, cuya movilidad y detección de obstáculos ya está implementada, y sobre ella añadir los componentes y prestaciones que queramos. El problema en cuanto a ésto es que se trata de una **plataforma cerrada**. No disponer del código fuente hace que no podamos extender el robot como queramos, y así el fabricante se reserva los derechos de su uso.

Si no podemos asumir el presupuesto de una plataforma ya montada o simplemente queremos hacer pruebas y divertirnos con la experiencia, hoy en día es fácil y asequible acceder a componentes electrónicos con los que crear pequeños robots y artefactos caseros. Un ejemplo de *núcleo* para ésto sería una placa de *Arduino*, que por unos 20 o 30 euros contiene las conexiones para añadirle módulos de cámara, altavoces, servomotores y cualquier cosa que se nos ocurra [?].

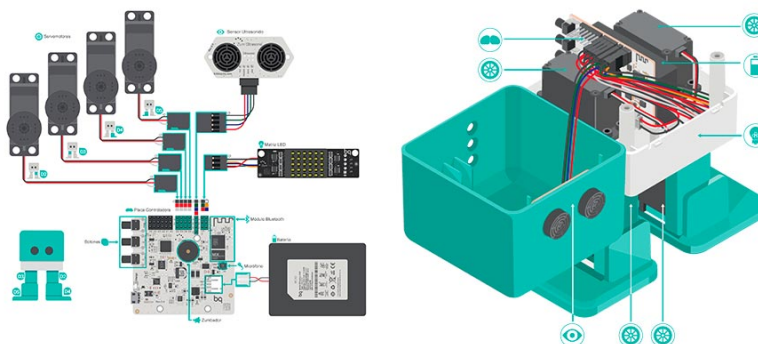


Figura 2.2: Zowi, ejemplo de robot basado en Arduino mas sensores - Fuente: Balara [?]

Esta placa de desarrollo contiene un microcontrolador que permite ser programado en código C muy fácilmente, pero está limitado a eso. Si queremos utilizar un sistema que nos permita gestionar más cosas que la simple ejecución de un código, como un sistema operativo completo, deberíamos dar el salto a algo más parecido a un ordenador común, para lo que puede servirnos la conocida *Raspberry Pi* [?]. Existen otras alternativas de la misma gama provenientes de *Asus* o de *NXP* [?], pero nos ceñiremos a la primera ya que está muy enfocada al sector educativo y al público joven y goza de una comunidad muy numerosa. Lo que todos estos dispositivos comparten son diversas conexiones a través de las cuales podemos añadir los elementos que mencionábamos previamente para nuestro proyecto de robot, además de permitirnos acceso a la configuración de su sistema operativo (o incluso podemos confeccionar uno a nuestra medida, como veremos en el siguiente apartado).

Sistema operativo, el cerebro del robot

Continuando con la *Raspberry*, el ordenador monoplaca en torno al cual podríamos construir nuestro robot, pasemos ahora a hablar del sistema operativo. Para esta placa en cuestión existe uno muy aclamado por la gente llamado *Raspbian* [?], basado en *Debian*, una conocida distribución de *GNU/Linux* que viene de los propios creadores de la *RPi* y dispone de todo lo necesario para formar un sistema de operativo completo, incluyendo hasta interfaz gráfica y aplicaciones de escritorio.

Contando con instalar en la tarjeta de memoria un sistema operativo ya montado como éste, podríamos seguir adelante con la conexión de periféricos que conformarán nuestro robot, o quizás nos interese más detenernos un momento a decidir si realmente queremos usar opciones como *Raspbian* o preferimos tener algo personalizado y a nuestra medida.

Para los más aventureros, existe la posibilidad de diseñar y compilar un siste-

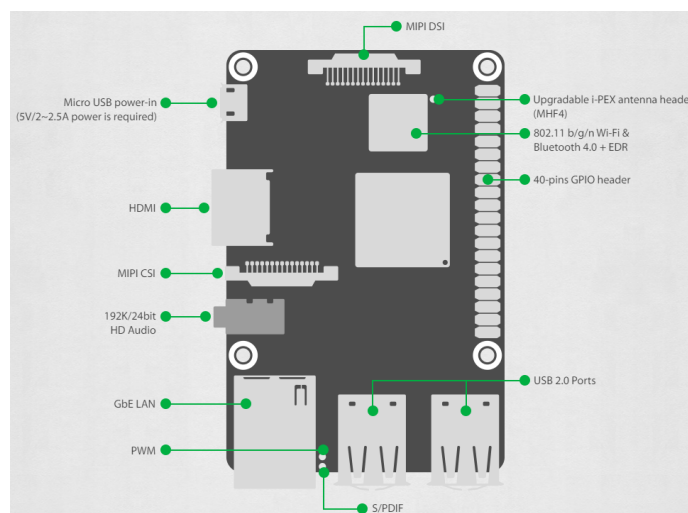


Figura 2.3: *Tinker board*, la alternativa de *Asus* - Fuente: *Asus.com* [?]

ma operativo propio (aunque también basado en *GNU/Linux*) con herramientas como *Buildroot* [?] y *The Yocto Project* [?]. Se tratan de frameworks que permiten compilar una distribución *Linux* a medida según las necesidades del dispositivo embebido en cuestión seleccionando las piezas que lo conforman como si de un puzzle se tratase. Por ejemplo, un robot que no tenga pantalla pero sí informe al usuario mediante efectos sonoros puede prescindir de todos los paquetes gráficos; igual que otro que no necesite conectarse a un router de forma inalámbrica no necesita tener instalados todos los paquetes correspondientes a la gestión de *WiFi*.

Por un lado, tenemos la decisión entre utilizar un sistema operativo ya compilado o diseñarlo como hemos comentado. Si miramos el estudio que realizó *Mads Doré Hansen* en su paper *Yocto or Debian for Embedded Systems* [?] podemos matizar nuestra respuesta en consideración.

“*Debian* es bueno para pruebas rápidas y entornos de escritorio con memorias grandes y requisitos bajos de mantenimiento. *Yocto* es bueno para entornos personalizados con soporte a distintas plataformas hardware de poca memoria y que requieren trazabilidad y reusabilidad.

Sobre *Debian*, también menciona que al ser conveniente para pruebas rápidas, muchos equipos de desarrollo comienzan su trabajo en la plataforma embebida utilizándolo, posponiendo tanto el paso a utilizar *Yocto* para diseñar un sistema propio, que terminan postergándolo infinitamente y no lo realizan nunca. Un argumento a favor de ellos es que la **curva de aprendizaje** de *Yocto* es grande, dado que requiere compilar todo el sistema para la arquitectura destino, mientras que opciones como *Debian* seguramente ya dispongan de paquetes pre-compilados.

Por ahora, nos conformaremos con saber de la existencia de estas alternativas. Más adelante comentaremos cuál nos resulta más conveniente para el caso que nos ocupa.

Programación del robot

Pasemos ahora a hablar de **software**. ¿Qué herramientas necesita un desarrollador para programar su robot? Pues bien, indagando un poco podremos ver que realmente no dista mucho de codificar cualquier otro software convencional.

TODO: describir sucintamente ROS y por qué no es necesario usarlo existiendo Redis

Capítulo 3

Especificación y requisitos

Se desea disponer de una plataforma robótica extensible, libre y abierta; que permita una buena extensibilidad de nuevas características mediante software. Además, se propone la implementación de un uso concreto para esta plataforma. En este capítulo listaremos los distintos requisitos y puntualizaremos sobre cada una de las decisiones tomadas para satisfacerlos.

3.1. Requisitos generales

3.1.1. Licencias

Se trata de un proyecto de software **libre** y de **código abierto**. Para ello, se publica bajo una licencia *GPLv3* en un repositorio público en *Github*.

Además de *Github*, existen otras alternativas de repositorios públicos que permiten utilizar *git* para control de versiones (como *Bitbucket* y *Gitlab* entre otras). El porqué de utilizar *Github* es meramente por aprovechar la licencia *premium* que se provee a los estudiantes de la UGR simplemente por matricularse; permitiendo así tener algunos repositorios privados a nuestra disposición.

Con el código público y la licencia elegida, cualquier usuario podrá descargar el software, compilarlo, ejecutarlo e incluso añadir modificaciones al código para ser probadas e integradas en la plataforma final. Para ello, en el propio repositorio se pone a disposición del interesado un fichero **README.md** con los pasos necesarios.

3.1.2. Especificaciones

El término *plataforma robótica* puede ser demasiado amplio para su manejo, por lo que en esta subsección definiremos algunos de los puntos más interesantes.

Extensibilidad

Ya que se desea disponer de una plataforma extensible cuyo comportamiento y características puedan ampliarse a través de software, se debe dotar al robot

de una arquitectura que permita este crecimiento.

TODO: explicar orquestación de servicios y mensajería.

Conectividad

Como plataforma inteligente y conectada que utiliza el paradigma del *edge computing*, sabemos que el robot ha de ser un dispositivo embebido con conexiones al exterior como Bluetooth y/o WiFi. Que éstas vengan implícitas en la plataforma hardware utilizada facilitará mucho el trabajo, ya que nos ahorramos el hecho de tener que soldar componentes. Utilizaremos para ésto una *Raspberry Pi Model 3 B*, que pese a no ser el último modelo de la marca *Raspberry*, es la que tengo a disposición en casa. Además, satisface las necesidades de conectividad que comentábamos.

Por otro lado, en cuanto al requisito de computación en el borde, la plataforma deberá contener uno o más servicios que establezcan la comunicación con el servidor, además de enviar y recibir mensajes. Esta conexión con el servidor se realizará utilizando el protocolo *Websockets*, ya que

TODO: (explicar bondades de WS).

Interfaz y experiencia de usuario

El robot contará con una pantalla táctil con la que proveerá la información necesaria al usuario (en función de las aplicaciones que necesite o decidan integrarse en el robot). Cualquier pantalla táctil que permita su conexión con la *Raspberry* debería servir, por lo que no entraremos a detallar limitaciones hardware. Para la interacción del usuario, el sistema contará con una **aplicación embebida de entorno gráfico** que permita el uso del robot. La tecnología usada por esta aplicación, se ha decidido que sea el framework de *Qt*, que pese a tener modalidades de licencias de pago, permite un uso *open source*. Además, se trata de una tecnología con una amplia comunidad, una documentación muy rica y un gran soporte para dispositivos embebidos. Por otro lado, dispongo de amplia experiencia con dicha herramienta, lo que agiliza enormemente el tiempo de desarrollo.

Otra característica que sería de agradecer en la plataforma tiene que ver con la **reproducción de sonidos** que faciliten la comunicación con el usuario, así como la **accesibilidad**. No todo el mundo goza de capacidad visual o simplemente no están habituados a interfaces táctiles, por lo que emitir alertas y sonidos descriptivos facilitaría llegar a más usuarios de forma plena y satisfactoria.

Gestión experta y mantenimiento

Como hemos comentado en secciones anteriores, el robot goza de hardware provisto de conectividad inalámbrica. En este punto haremos uso de esta característica para ofrecer un método de mantenimiento, supervisión y gestión del robot, por parte de alguna "mano experta".

De forma similar a lo que comentamos sobre *Websockets* en el apartado de **Conectividad**, aquí necesitaremos de un método de administración de los distintos robots existentes desde un portal web externo a ellos. Un técnico encargado de gestionar los robots, accederá a una web alojada en el servidor externo que realiza *la computación en el borde*. Ésta será una web sencilla utilizando el protocolo común de *HTTPS*.

Inicialmente, este portal web servirá para listar los dispositivos conectados (es decir, los robots que han sido provisionados con el software de *Lazarillo* y se encuentran en funcionamiento), pero posteriormente permitirá enviar acciones remotas desde el servidor al robot (como reinicios, actualizaciones de software, acciones concretas a realizar por el robot, etc.).

Movilidad

El factor determinante que diferenciará a nuestro robot de un sistema empujado inmóvil será la capacidad de desplazarse por el entorno. Ya sea para un uso u otro, el robot deberá venir dotado de un sistema hardware que le permita avanzar por el plano, conteniendo elementos como motores y ruedas o cintas móviles.

Además, si se desea que el robot sea **inteligente** y reconozca el entorno por el que se está moviendo, deberá dotarse de algún sistema de reconocimiento como **sensores de proximidad** o **cámaras**. Respecto a esto, si queremos seguir el paradigma de *edge computing* como venimos comentando, el procesamiento de estas señales podría realizarse en el servidor en lugar de en el propio robot, lo que también liberaría a la plataforma hardware del robot de una buena parte de la computación.

3.2. Objetivos opcionales

(TODO: listar cosas que podrían hacerse para las que no habrá tiempo.)

Capítulo 4

Implementación

En este capítulo comentaremos a fondo las decisiones tomadas que hemos comentado previamente en base a la especificación, además de describir las implementaciones propuestas con las distintas tecnologías utilizadas.

Pondremos el foco no solo en el software implícito en el robot sino también a los componentes desarrollados externos a él, pero que también conforman la arquitectura completa de la plataforma.

Las ideas que por una razón u otra no hayan llegado a implementarse a tiempo, serán definidas en profundidad en apartados posteriores.

4.1. Sistema operativo

Para dotar a la *Raspberry* de un sistema operativo ligero, extensible y hecho a medida, decidimos obviar sistemas ya existentes como *Raspbian* (S.O. de culto para la mayoría de usuarios de este computador) (TODO: ref a Raspbian) y confeccionar el nuestro propio a través de una herramienta libre y gratuita como es *The Yocto Project* (TODO: ref a yocto).

¿Por qué omitimos un sistema operativo que ya existe?

Pues bien, la respuesta es fácil. *Raspbian* es un sistema operativo de uso general que permite utilizar la *Raspberry* como cualquier ordenador normal, ya sea para ofimática, desarrollo de software, consumo de recursos multimedia o incluso videojuegos. Esto provoca que el sistema operativo en cuestión venga con demasiado *bloatware* (TODO: poner en el glosario) preinstalado de base; y llevaría más tiempo modificar la imagen de *Raspbian* para que no contenga todo el software no deseado que confeccionar un sistema operativo a medida.

Además, deseamos que el robot solo muestre una aplicación embebida en pantalla en lugar de un entorno de escritorio normal, por lo que podemos prescindir de este entorno completo y configurar nuestro nuevo sistema para que solo muestre una aplicación y ahorre tiempo en el arranque.

4.2. Arquitectura de Lazarillo

En esta sección enumeraremos los distintos servicios y módulos específicos creados para Lazarillo y describiremos el propósito para el que han sido programados.

(TODO: insertar diagrama de arquitectura)

4.2.1. Servicios internos

Veamos ahora una breve explicación del propósito que satisfacen los módulos software internos del robot.

lazarillo-hmi

Se trata de la aplicación que muestra la interfaz táctil al usuario.

messages-definition

Este módulo no es en sí un servicio sino una **librería** donde se definen los mensajes que utilizan internamente el resto de servicios para comunicarse.

service-base

Este módulo define el esqueleto abstracto de cada uno de los servicios del robot. Heredando el comportamiento de esta librería, cada uno de los nuevos servicios se ahorran procedimientos rutinarios como instanciar la conexión con la base de datos y el bróker de mensajería.

web-gateway

Este servicio es el *puerto de entrada* a Lazarillo. Realiza la comunicación mediante *Websockets* con **lazarillo-admin**, el portal web a través del cual un técnico puede administrar los distintos robots. **Web-gateway** actúa como intérprete de los mensajes provenientes del *socket* y los publica en la mensajería interna del robot (basada en *Redis*) para informar al resto de servicios de cualquier acción emitida por el servidor.

4.2.2. Componentes externos

Como venimos comentando, además del software embebido en el robot, disponemos de otros módulos externos a él que completan la plataforma.

lazarillo-admin

Este es el título asignado al servicio web que tanto venimos comentando a lo largo de este documento, a través del cual podemos visualizar y gestionar los distintos robots conectados al servidor.

Está programado con *NodeJS* (TODO: ref a node) y utiliza librerías para hacer las veces de servidor con *HTTPS* (para la web) y con *Websockets* (para

la comunicación con el robot).

Capítulo 5

Trabajos futuros

Un buen *brainstorming* sobre el desarrollo de una idea novedosa y (se supone que) útil siempre es motivador y consigue animar a un programador a llevar la idea a la práctica, intentando la consecución del mayor número de requisitos posibles. Sin embargo, el tiempo siempre es uno de los factores más determinantes a la hora de dictaminar cómo de lejos se llega con el proyecto.

Dicho esto, en este capítulo comentaremos cuáles de las ideas iniciales no llegaron a finalizarse a tiempo para la entrega del proyecto, y cuáles se decidieron postergar en el tiempo para un futuro desarrollo.

Cabe destacar que dada la naturaleza libre del proyecto, cualquier interesado o interesada podría continuar con la parte del desarrollo que más le interese; ya que esta idea nació como una herramienta abierta a la que poder contribuir y de la que cualquiera pueda sacar utilidad.

Entrando ya en materia, dividiremos este capítulo en breves secciones relacionadas con las ya vistas en el capítulo de **Implementación**, detallando los cabos sueltos que hayan quedado en cada uno de ellos.

5.1. Sistema operativo

5.2. Servicios propios

5.3. Otros

TODO: rellenar secciones (tras terminar capítulo de Implementación)

Capítulo 6

Conclusiones

Bibliografía

- [1] IEEE.org, “IEEE - Advancing Technology for Humanity.” Enlace: <https://www.ieee.org/>.
- [2] IEEE - Robots, “What Is a Robot? Top roboticists explain their definition of robot.” Enlace: <https://robots.ieee.org/learn/what-is-a-robot/>.
- [3] iRobot, “Robots aspiradores Roomba.” Enlace: https://www.irobot.es/es_ES/roomba.html.
- [4] Tesla, “Artificial Intelligence Autopilot.” Enlace: <https://www.tesla.com/AI>.