



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES

Curso Académico 2021/2022

Trabajo Fin de Grado

ROBÓTICA EDUCATIVA CON PYTHON Y MBOT

Autor : Eva García Domingo

Tutor : Jose María Cañas Plaza

Índice general

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivos	2
2.1.1. Programación en Python de un robot basado en Arduino	2
2.1.2. Propuesta educativa completa, basada en Scratch y Python y escalonada según dificultad	2
2.2. Requisitos	3
2.3. Metodología	3
3. Infraestructura	5
3.1. Entorno	5
3.2. Hardware	6
3.2.1. Placa Arduino	6
3.2.2. MBot	6
3.2.2.1. Sensores	8
3.2.2.2. Actuadores	9
3.3. Software	11
3.3.1. Scratch y mBlock	11
3.3.2. Arduino	14
3.3.3. Python	15
4. Plataforma PyBo-Kids-2.0	17
4.1. Diseño	17
4.1.1. Comunicaciones	17
4.1.2. Programa residente	18
4.1.2.1. Comunicación serial	19
4.1.2.2. Uso de sensores y actuadores	20
4.1.3. Programa PC	22
4.2. Resultado: programa PC y programa residente	23
4.2.1. Protocolo de mensajes	24
4.2.2. Bibliotecas	25
5. Aplicación educativa	29
5.1. Contexto	29
5.2. Objetivos docentes: metodología	30
5.3. Primera etapa: Scratch	30

ÍNDICE GENERAL

		1
5.3.1.	Prácticas	30
5.3.1.1.	Actuadores	30
5.3.1.2.	Sensores	33
5.3.1.3.	Comportamientos	37
5.4.	Segunda etapa: PyBo-Kids-2.0 en Python	41
5.4.1.	Introducción a Python	41
5.4.2.	Prácticas	43
6.	Conclusiones	46
6.1.	Conclusiones	46
6.2.	Trabajos futuros	47
	Bibliografía	49

Capítulo 1

Introducción

Capítulo 2

Objetivos

En este explicaremos los objetivos de este Trabajo Fin de Grado, así como la intencionalidad de ellos y la metología para llevarlos a cabo.

2.1. Objetivos

Como se ha adelantado en la introducción, el carácter, y por tanto el objetivo, principal de este Trabajo Fin de Grado es educacional. Siguiendo este carácter, abordaremos dos caminos complementarios, explicados a continuación.

2.1.1. Programación en Python de un robot basado en Arduino

El objetivo técnico será proporcionar una biblioteca en python que poder utilizar para programar un robot concreto basado en una placa base de Arduino, con el fin de dar una opción de lenguaje más sencilla. Para que esto sea posible, también se trabajará en un programa residente, en Arduino, que grabar en la placa base, que ofrezca una comunicación con la biblioteca de python. Así, se podrán programar los sensores y actuadores del robot con funciones en python, cuya lógica estará en esta biblioteca y de la cual no tendrán que preocuparse los alumnos.

2.1.2. Propuesta educativa completa, basada en Scratch y Python y escalonada según dificultad

Ofreceremos una propuesta educativa, para un curso escolar, orientada según niveles de dificultad y con objetivos docentes. Para ellos, crearemos diferentes ejercicios, o prácticas, de robótica -con el robot educacional Mbot, describiendo los objetivos conceptuales que se persiguen y ordenándolas con la finalidad de un aprendizaje gradual de programación. Este curso estará orientado principalmente a alumnos de Educación Primaria o Secundaria (alumnos sin conocimientos previos de programación). Para esta propuesta, utilizaremos tanto el lenguaje de programación por bloques Scratch, proporcionado por el fabricante, como nuestro *middleware* en Python, más complejo y, por tanto, como segunda parte avanzada.

2.2. Requisitos

Respecto a estos objetivos, hay ciertos requisitos que se han marcado para cumplirlos:

- La plataforma desarrollada, llamada PyBo-Kids-2.0, deberá ejecutarse en el lenguaje de programación Python, y el robot educativo podrá programarse en este lenguaje.
- Esta plataforma contendrá los métodos necesarios, en una biblioteca, para empaquetar la lógica de los sensores y actuadores del robot, haciendo esta lógica invisible al usuario (alumno).
- PyBo-Kids tendrá asociada una biblioteca de Arduino, desarrollada para entenderse con la biblioteca de Python y establecer una comunicación exitosa entre el robot (lado residente) y el PC.
- Esta biblioteca Arduino estará pre-cargada en el robot, para no tener que cambiar el programa del lado residente cada vez que se quiera programar algo nuevo en el Mbot.
- Los ejercicios y prácticas educativas se diseñarán para utilizar el robot Mbot y sus periféricos, así como la plataforma del fabricante y la desarrollada en este Trabajo Fin de Grado (PyBo-Kids-2.0).
- Los contenidos educativos tendrán serán una guía de programación y de robótica, tendrán unos objetivos a corto plazo (por ejercicio), a medio plazo (por bloque de lenguaje) y a largo plazo (por curso). Sin embargo, por edad de los alumnos, podría darse el caso de no poder completar el segundo bloque; en este caso se orientará el curso para avanzar todo lo posible.

2.3. Metodología

Este Trabajo Fin de Grado tiene como premisa un trabajo ya realizado, durante un curso escolar, de clases de robótica a alumnos de Educación Primaria. Con esta base, y este conocimiento adquirido, se crearon los objetivos y sus requisitos, para ampliar la propuesta educativa. Para cumplir estos objetivos, se ha trabajado manteniendo un ciclo semanal de reuniones telemáticas con el tutor, donde se comentaban: avances realizados con respecto a los hitos marcados la semana anterior, problemas encontrados, ideas de trabajo, y nuevos hitos para trabajar durante la semana. La progresión necesaria para el cumplimiento ha sido la siguiente:

1. Familiarización con el entorno robótico de Arduino: uso del robot Mbot con el lenguaje nativo de la placa base, para entender la comunicación *Serial* y el funcionamiento de los actuadores y sensores (valores de entrada y salida), además de familiarización con el lenguaje en sí.
2. Comunicación "robótica" básica entre Python y Arduino, a la que ir añadiendo los periféricos del robot.
3. Diseño de un sistema de mensajes estandarizados para el desarrollo de ambas bibliotecas Python y Arduino, con el que poder establecer una comunicación exitosa entre PC y robot.

4. Desarrollo de ambas bibliotecas con el diseño anterior, y de ejercicios utilizando éstas.
5. Adaptación de los ejercicios realizados durante el curso escolar a la nueva plataforma PyBo-Kids.

Capítulo 3

Infraestructura

En este capítulo describiremos la infraestructura utilizada, tanto software como hardware, detallando los pasos a seguir si se desea emular. En caso de que algún componente haya sido elegido entre otros de igual aplicación, expondremos las razones de la elección.

3.1. Entorno

Teniendo el cuenta el carácter educativo de este Trabajo, y su pretendida aplicación en estudiantes de Educación Primaria, se ha elegido el sistema operativo Windows, un entorno conocido, amigable y fácilmente accesible, para instalar y utilizar las diferentes herramientas software.

Tradicionalmente, cuando se hablaba de programación y especialmente de programación robótica, siempre se ha utilizado el sistema operativo Linux. Éste daba la posibilidad de instalar todos los paquetes de lenguajes de programación y entornos, mientras que Windows era especialmente cerrado en cuanto a lenguajes no nativos (fuera de *bash* o de *visual basic*, se hacía complicado utilizar un lenguaje de programación sin acabar recurriendo a virtualizar una máquina Linux), y los entornos software (aplicaciones) de terceros diseñados para programar habitualmente no tenían una versión instalable para Windows.

Sin embargo, los últimos años el Sistema Operativo se ha abierto a esta operativa, ya que la política popular demandaba poder utilizarlo, siendo el sistema operativo más utilizado por usuarios, como herramienta de desarrollo también a nivel usuario. La nueva línea de comandos de Windows, **Powershell** (también lenguaje de scripting), añadió a la original *Bash* características nativas de Linux, siendo una herramienta de programación además de administración. De hecho, en la última versión, está disponible para el propio SO de Linux (en algunas distribuciones).

Al principio de este Trabajo, se consideró a Linux un entorno menos amigable para usuarios sin experiencia en programación, y de la edad comentada anteriormente, por ser considerado "no de usuario": en el poco probable caso de que un estudiante conociera el sistema, lo consideraba algo muy complejo y no accesible para su nivel. Por tanto, elegir Windows eliminaba ese prejuicio y contaba con la ventaja de predisponer positivamente al alumno y de facilitarle el acceso al entorno.

3.2. Hardware

En esta sección describiremos los componentes hardware utilizados. La razón de la elección de éstos responde a la misma filosofía que en la sección anterior, la facilidad de acceso a los componentes y la facilidad con que se complementa en el entorno.

3.2.1. Placa Arduino

Las placas Arduino son las más extendidas en cuanto a robótica. Arduino nació como una solución barata con el principal objetivo de utilizarlo en Educación. Además, al ser un proyecto liberado al público, su uso está extendido a toda una comunidad, que amplía y comparte sus propios desarrollos ([1]).

Estas placas son hardware libre (uno de las principales razones de su bajo coste), y contienen un procesador re-programable y una serie de pines hembra, donde se conectarán los periféricos de entrada/salida necesarios para controlar un robot. Hay diferentes modelos de placas Arduinos, cada una fabricada con un propósito diferente; en este caso, hemos utilizado el modelo mCore, basado en [Arduino Uno](#), ya que es la que lleva por defecto el robot educativo Mbot (que comentaremos en la sección 3.2.2). Además de los pines hembra, o puertos, contiene una serie de actuadores y sensores integrados en la placa.

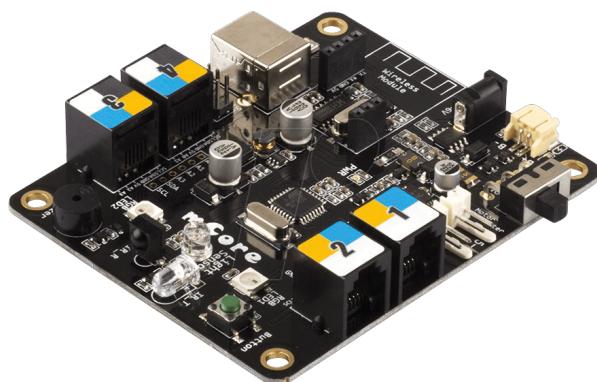


Figura 3.1: Placa mCore

3.2.2. MBot

Actualmente hay una gran variedad de robots educativos, orientados principalmente a los alumnos más jóvenes. El objetivo de la robótica educativa es ofrecer un entorno amigable y divertido, además de *más realista* que la programación tradicional. Es más fácil para un niño o niña sentirse interesado por algo que tiene una reacción *visible*, en algo que puede tocar y manejar, que en la programación normal que, aunque produce una reacción, es mucho más abstracta. Esto convierte la robótica en la herramienta perfecta para enseñar lenguajes, conceptos básicos de programación como funciones, uso de variables, y avanzar hasta la algoritmia se hace un proceso natural al que los propios alumnos llegan ellos mismos.

El principal problema al que nos enfrentamos para enseñar programación a los más jóvenes son los lenguajes de programación. Son poco intuitivos y legibles, sumado a la dificultad de mantener la atención de un alumno o alumna tan joven escribiendo en un ordenador en estos lenguajes. Era necesaria, por tanto, una forma de enseñar estos conceptos de programación

comentados anteriormente sin tener que utilizar lenguajes clásicos de programación, al menos para los alumnos más jóvenes. La solución fue la programación por bloques de *pseudocódigo*. El pseudocódigo es un *framework*, una carcasa, que recubre el verdadero lenguaje de programación de la placa del robot, y lo hace legible y entendible. Además, siendo esto una de las grandes ventajas añadidas, la mayoría de los pseudocódigos están en casi todos los idiomas, permitiendo a los alumnos programar en su propio idioma.

Esto nos lleva al robot Mbot ([4]). Está basado en una placa Arduino Uno, y pensado especialmente para la enseñanza: los diferentes sensores y actuadores (los que vienen en el paquete básico, aunque hay muchos más posibles del mismo fabricante)están pensados para ofrecer prácticas entretenidas y, lo más importante, con diferentes niveles de dificultad, por lo que se puede utilizar con alumnos de diferentes edades y, durante un mismo curso escolar, crear prácticas con las que evolucionar en los conceptos.



Figura 3.2: Modelo Mbot utilizado

Este robot Mbot se programa utilizando un lenguaje llamado *Scratch* (3.3.1), un pseudo código muy gráfico y sencillo pero potente, que "recubre" la placa base. Sin embargo, al ser una placa Arduino y por lo tanto, reprogramable, siempre se puede programar en el propio lenguaje Arduino. Esto se comentará en profundidad más adelante, en el punto 4.

Como se puede observar en la imagen, el robot cuenta con dos motores conectados a la placa; contiene además cuatro puertos a los que poder conectar diferentes periféricos con los que trabajar (numerados del uno al cuatro), sin contar con los motores. El modelo mostrado es el básico, sin embargo se pueden cambiar los componentes, añadiendo y/o cambiando la estructura base, y crear "otro" robot (por ejemplo, en las figuras siguientes ??). Aunque en este Trabajo de Fin de Grado solo trabajaremos con la versión básica del Mbot, esta posibilidad de añadirle componentes o cambiarlos es muy interesante para los alumnos, ya que trabajan la mecánica y pueden utilizar más tipos de periféricos.



Figura 3.3: Posibles cambios en el Mbot

3.2.2.1. Sensores

En robótica un *sensor* es un periférico de entrada que, conectado a una placa base, recoge información del medio (cantidad de ruido, temperatura, distancia frontal, etc) y la envía a la placa, dejándola disponible para toma de decisiones. La cantidad de información que se pueda recibir sólo depende de la cantidad de sensores que se pueda conectar a la vez a la placa (cuatro, en este caso, si solo se trabajara con sensores y ningún actuador). En el robot básico (de la imagen ??) los sensores son:

Sensor de ultrasonidos Está colocado en el frente, y recoge información de **distancia** hasta un objeto, en *cm* (el valor máximo es 400)

Sensor infrarrojo Sigue Líneas Está ubicado de tal forma que lea, del "suelo", si el sensor está tapado o no, es decir: está sobre blanco o negro (de fondo, es un sensor binario). Se compone en realidad de dos sensores, izquierdo y derecho, por lo que habrá cuatro posibilidades, cada una codificada con un valor numérico (el valor que devuelve el sensor a la placa Arduino):

- Ningún sensor tapado: 0
- Sensor izquierdo tapado y derecho no: 1
- Sensor derecho tapado e izquierdo no: 2
- Los dos sensores tapados: 3

Sensor de Luz En este caso, está integrado en la placa, por lo que no es necesario utilizar un puerto para él. Nos da un valor de cantidad de luz en el ambiente, pudiéndolo utilizar para saber si hay más o menos luminosidad de la deseada. Por supuesto, para este valor "deseado" será necesario obtener un valor inicial de la habitación en la que nos encontramos, para poder establecer ese valor barrera (*threshold*)

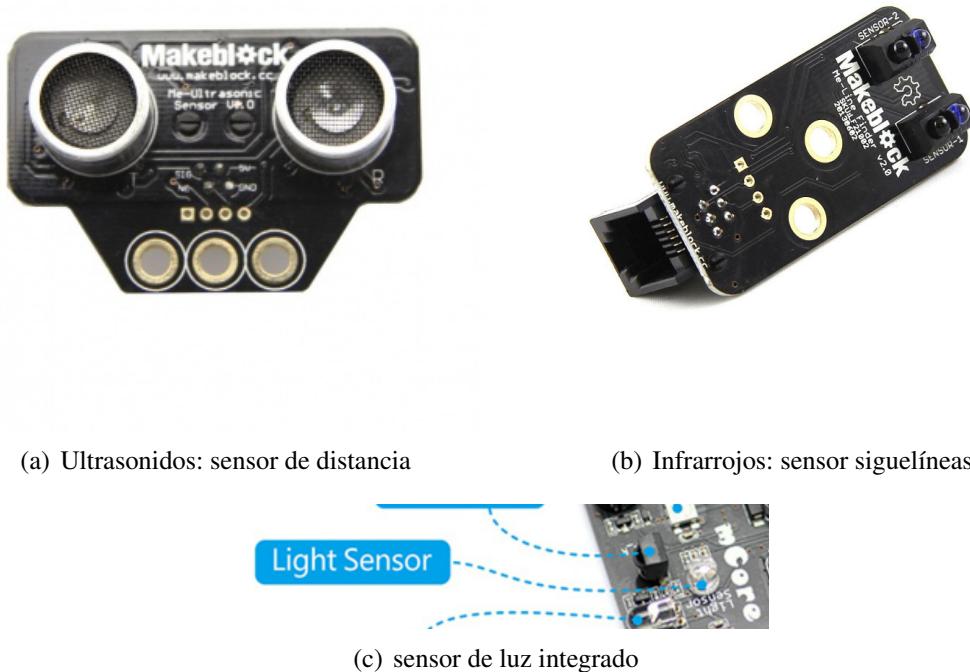


Figura 3.4: Sensores

3.2.2.2. Actuadores

La definición de *actuador* es un periférico de salida al que la placa envía datos con los que éste realiza una acción de una forma u otra. Por ejemplo, teniendo una velocidad v_0 , este valor es enviado a los motores, que se moverán a esa velocidad y no a otra.

Los actuadores, los que no están integrados en la placa directamente, se conectan a la placa a través de los mismos puertos que los sensores. Para poder usarlos, habrá que especificarle a la placa en qué puerto están conectados (igual que con los sensores). En nuestro robot básico, tenemos los siguientes actuadores:

Leds . Están integrados en la placa, en la parte superior, y compuesto por dos led individuales que poder combinar dependiendo de qué valor codificado se envíe a la placa:

- Los dos led: 0
- Sólo led derecho: 1
- Sólo led izquierdo: 2

Los led son RGB (*[red, green, blue]*), y el color de los dos led se codifica con un valor entre 0 y 255 para cada uno de los colores rojo, verde y azul. Así, por ejemplo, el rojo completo sería [0,255,0], el morado sería [255,0,255], el negro [0,0,0] o el blanco [255,255,255]. Estos led están codificados con valores decimales, en vez de hexadecimales como sería una codificación RGB tradicional, para facilitar la programación a los alumnos, que no conocerían el sistema hexadecimal.

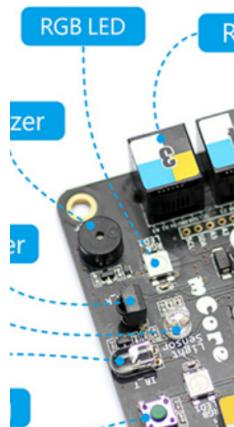
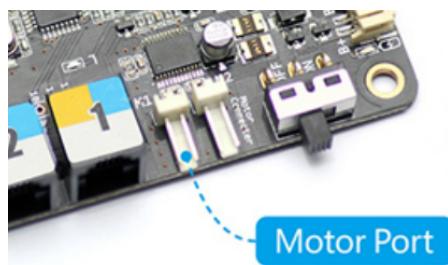


Figura 3.5: Led RGB integrados

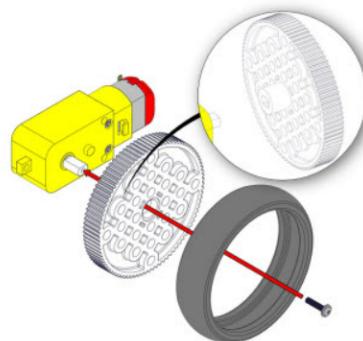
Motores En el paquete básico tenemos dos motores DC (de corriente continua) conectados a la placa en un conector específico para motores a los que conectar los dos cables, positivo y negativo. Los motores admiten como velocidad de entrada valores enteros entre [-255,255] (valores negativos para retroceder y positivos para avanzar), pudiendo dar valores diferentes a cada uno de ellos (para tener capacidad de hacer girar al robot).



(a) Puerto de conexión de los motores



(b) Motor DC



(c) Motor DC: montaje con rueda

Figura 3.6: Motores

Zumbador También integrado en la placa, emite notas musicales codificadas en nomenclatura

americana. La equivalencia, que los alumnos necesitan conocer, está en la tabla siguiente. Para utilizar diferentes notas más agudas o más graves, se utilizan números a continuación de las letras (**C0** es más grave que **C5**). Internamente, el zumbador entiende valores enteros, correspondientes en frecuencia con cada nota (en la tabla, sólo se pone el valor para los valores *I*, a modo de ejemplo):

Europea	Americana	Valor entero
Do	C	33
RE	D	37
MI	E	41
FA	F	44
SOL	G	49
LA	A	55
SI	B	62



Figura 3.7: Zumbador integrado

3.3. Software

En esta sección describiremos el diferente software utilizado y el propósito de éste en el marco de este Trabajo Fin de Grado.

3.3.1. Scratch y mBlock

Como se ha comentado anteriormente, el robot Mbot es programable con Scratch, un lenguaje de **programación por bloques**. Un *bloque de código* consiste en codificar en un "paquete" una sentencia completa de lenguaje (del lenguaje correspondiente, Arduino en este caso). Así, el estudiante que utilice Scratch, será capaz de utilizar una sentencia *if..else* o un bucle *for* de forma muy fácil y entendible, sin necesitar aprenderse todas las reglas de sintaxis del lenguaje real. A continuación, se muestran algunos ejemplos de bloques en Scratch correspondientes a los conceptos de programación más utilizados:



Figura 3.8: Algunos ejemplos de bloques en Scratch

Como puede observarse, las sentencias que se quieran repetir, o las variables de condición, tienen un lugar muy intuitivo donde colocarse. Además, pueden crearse variables, en las que guardar los valores de los sensores y poder utilizar como entrada de actuadores, o como valores de referencia.

Ciertamente, y aunque el lenguaje Scratch puede utilizarse como lenguaje de programación "tradicional", utilizando un escenario virtual con un personaje para observar el resultado del programa (sin robot físico), es mucho más completo al añadirle el módulo del robot deseado. Este módulo contiene bloques para recoger valores de los sensores o enviar valores a los actuadores, ya sean "*on board*" (integrados en la placa), o teniendo que especificar el puerto al que están conectados:

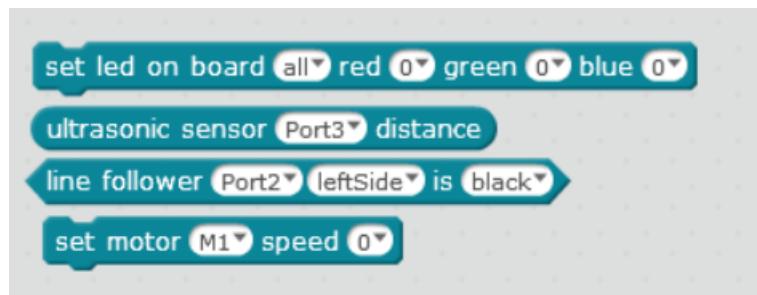


Figura 3.9: Ejemplos de bloques de Mbot en Scratch

Para utilizar Scratch y programar el robot, es necesario instalar un programa, que es el que contiene el compilador y el que permite conectar el robot al PC para enviarle el programa, llamado *mBlock*. El ejecutable se descarga de la página oficial del fabricante, [Makeblock](#), disponible para PC (también existe una versión simplificada para dispositivos móviles).

Una vez instalado el software, el proceso para poder empezar a usar el mBot es muy simple:

1. Conectar el robot al pc con el cable USB, y conectarlo con el programa (el robot debe estar encendido).

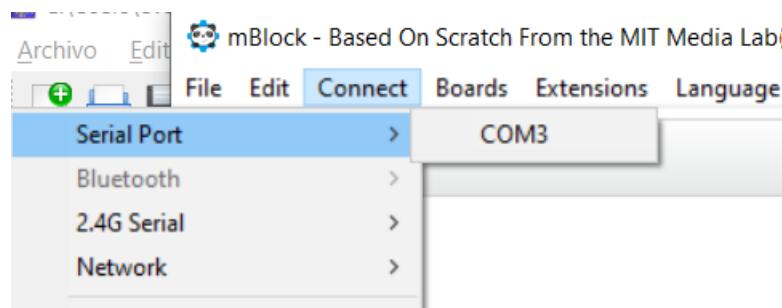


Figura 3.10: Conectar el mBot

2. Asegurarse de que la placa corresponde con el robot que tenemos

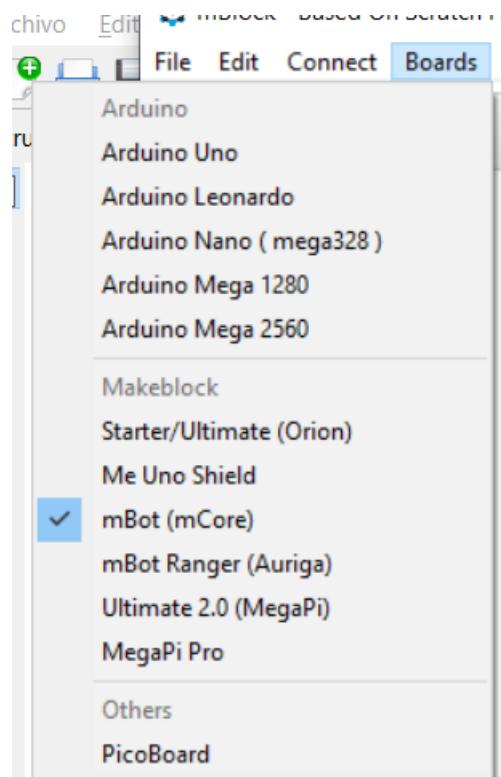


Figura 3.11: Placa mBot

3. Actualizar el programa Arduino subido a la placa base, para que funcione con Scratch (en caso de haber utilizado el robot con otro programa)

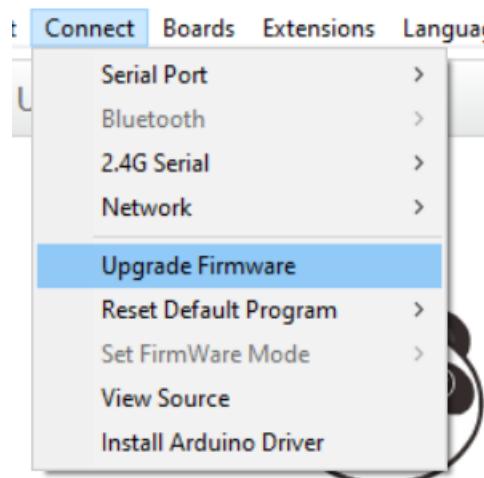


Figura 3.12: Actualizar firmware de la placa

4. Una vez programado algo de código, para subirlo al robot: click derecho sobre el código, 'upload to arduino', para compilar el programa, y otra vez a 'upload to arduino' cuando el compilador aparezca en la parte derecha de la pantalla, para subirlo a la placa

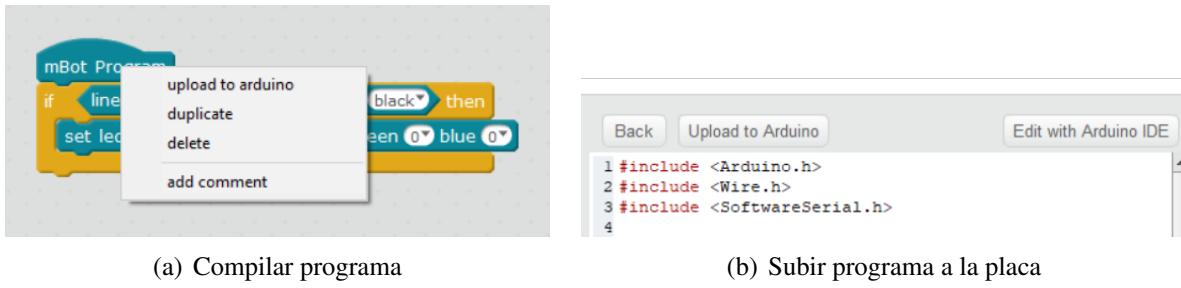


Figura 3.13: Subir programa a la placa del mBot

- Una vez subido el programa, el robot comenzará a funcionar tal y como lo hayamos programado.

Este lenguaje, junto a la interfaz gráfica, es una perfecta primera aproximación a la programación y a la robótica, dando más importancia al aprendizaje conceptual que a la sintaxis y al lenguaje. Obviamente, los alumnos necesitarán que se les guíe, principalmente al comienzo del curso, en comprender las necesidades de incluir los diferentes bloques y las ventajas que produce en el código. El objetivo no será explicarles para que usar, por ejemplo, un bloque condicional, sino proponerles un ejercicio en el que, para llegar a la solución, necesitarán de forma intuitiva programar un condicional, y lleguen naturalmente a la necesidad de ello.

3.3.2. Arduino

Como se explicó cuando hablamos de la placa base en la sección 3.2.1, ésta se programa en **Arduino**. Este lenguaje de programación está basado en C++, y pensado para interactuar con objetos electrónicos.

Teniendo en cuenta el objetivo de este Trabajo Fin de Grado, ofrecer una posibilidad de programar el robot Mbot en Python, es necesario utilizar el lenguaje nativo de la placa base, con el fin de que el robot *entienda* las órdenes programadas en Python. Por lo tanto, para crear este "framework", es necesario instalar el entorno Arduino. A continuación se explican las instrucciones para instalar el entorno en Windows, y para configurarlo para el robot.

- Descargar e instalar, Arduino IDE, el cual instala el entorno completo de Arduino. Para las versiones 8 y 10 de Windows, está disponible directamente en el Microsoft Store. Para otras versiones de Windows, está disponible en la [página web oficial](#).



Figura 3.14: Arduino IDE en el Microsoft Store

- Descargar las librerías de [Makeblock](#) para añadirlas a Arduino y poder utilizarlas en nuestro entorno.

3. Incluir el archivo comprimido descargado desde el Arduino IDE:
Programa - Incluir librería - Añadir biblioteca .ZIP - Seleccionar el fichero - Abrir
4. Seleccionar la placa básica que se va a conectar al IDE:
Herramientas - Placa - Seleccionar Arduino Uno
5. Especificar el modelo exacto de placa al principio del programa de Arduino; en este caso la placa que estábamos utilizando es la mCore. Así se cargan todos los métodos correspondientes al modelo de placa; debe incluirse en cada programa de Arduino que se escriba.

```
#include "MeMCore.h"
```

6. Igual que con Scratch, primero se debe conectar el robot al software (con el robot enchufado al PC y encendido):
Herramientas - Puerto - Seleccionar el puerto en el que está el robot
 Los puertos USB en Windows son *COM1, COM2, COM3*, etc.
7. Una vez tengamos un programa en Arduino listo para subir a la placa y probar con el robot:
Programa - Subir o el botón rápido de "subir".
 Este proceso primero compilar el programa y, si está correcto, lo sube a la placa. Sin embargo, se puede compilar primero como comprobación (*Programa - Verificar*).

3.3.3. Python

Por último, utilizaremos **python** para programar la lógica de los ejercicios. El objetivo es que se programe en python sólo los ejercicios, habiendo paquetizado todo lo relativo al robot en Arduino, y sólo utilizando la conexión con éste para obtener datos de los sensores y enviar datos a los actuadores. La descripción de este proceso y de la lógica de ambos lados (PC y robot) se describirá en profundidad en el capítulo 4.

La razón de utilizar Python como lenguaje de programación es la misma que la del resto de componentes: la facilidad para los alumnos de acceder a ello. Es uno de los lenguajes con sintaxis más simple (por comparación, Arduino / C++ es muy cerrado y complejo), además de ser las palabras reservadas significantemente entendibles (aunque es cierto que en inglés: *while*, *print*, *read*, etc), así como la declaración de variables es más flexible. Además, y aparte de la cuestión educacional, el módulo *serial* para conexión con periféricos, está con la instalación base, y es mucho más sencillo que en otros lenguajes, haciéndolo perfecto para la electrónica.

La instalación de python en Windows también es muy sencilla:

1. Descargar el paquete de la [web oficial](#) y ejecutar el instalable descargado. También es posible, para Windows 10, obtenerlo desde el Microsoft Store, tal y como se hizo para Arduino.
2. Una vez descargado, comprobar que se puede ejecutar abriendo una consola -Powershell- y escribiendo *python*, se ejecutará la consola de python, y podremos probar que tenemos python instalado en nuestro entorno (*exit()* para salir). También es útil comprobar que hemos instalado la versión correcta (3.10): *python -version* en una consola de Powershell (no teniendo abierta la consola de python)

```
>>> str="Hello world"
>>> print (str)
Hello world
>>> |
```

Figura 3.15: Comprobar python

3. Para ejecutar un programa escrito en python desde la consola de Windows:

```
py HelloWorld.py
```

Para escribir código en python, se puede utilizar cualquier editor de texto. El mismo instalador de python instala uno propio, *IDLE shell*, suficientemente simple y preparado particularmente para su sintaxis.

Capítulo 4

Plataforma PyBo-Kids-2.0

En este capítulo explicaremos el proceso seguido para desarrollar las bibliotecas Arduino y Python (ver en [2], [5]), explicando el código y las distintas necesidades que han surgido durante el desarrollo.

Como se explicó en el Capítulo 3, se ha utilizado Arduino y su IDE nativo para esta programación, y Python 3 y un editor de texto estándar (en este caso, Visual Studio Code, de Microsoft) para la programación en Python.

4.1. Diseño

Lo primero en el diseño de la plataforma ha sido el modelo "PC - Residente". Partiendo de la premisa dada de programación del robot en Python, era necesaria una forma para que, dado que la placa base iba a funcionar en Arduino, la comunicación Serial¹ funcionara entre los dos lenguajes.

4.1.1. Comunicaciones

La comunicación con el robot, como se ha comentado en el Capítulo 3 de Infraestructura, debe establecerse entre el entorno y el robot (con la placa base), cada vez que se encienda éste. Es, por tanto, el primer problema a solventar en ambos lenguajes.

El protocolo *Serial* abre una vía de comunicación a través de un canal electrónico, en este caso un cable USB, entre el entorno y el robot, a una velocidad en baudios². Este canal para el traspaso de información es necesario para enviar datos a la placa (por ejemplo, los colores a los que encender los LED integrados) o recibir datos de ésta (los valores de lectura de los sensores) y poder utilizarlos en toma de decisiones.

Al abrir la comunicación en ambas partes, placa base y PC, cualquiera de ellas es capaz de leer del canal la información que necesite, y de enviar a través de él (para que esto sea así, ambas partes deben haber abierto la comunicación a la misma velocidad). Por tanto, si la placa Arduino envía a través del canal Serial el dato que recoge del sensor de infrarrojos, el lado PC, que estaría leyendo de ese canal, obtendría este dato.

En la parte Arduino, al grabar el programa residente completo en la placa, la comunicación se

¹Comunicación secuencial de información a través de un canal, electrónico en este caso

²Velocidad, utilizada en electrónica, medida en número de símbolos por segundo

abre a la vez que se enciende el robot, puesto que el programa arranca con él. En la parte PC, de Python, la comunicación se abre cuando ejecutamos el programa que queremos que ejecute el robot. El flujo, entonces, podría dibujarse como el diagrama que aparece a continuación. Como

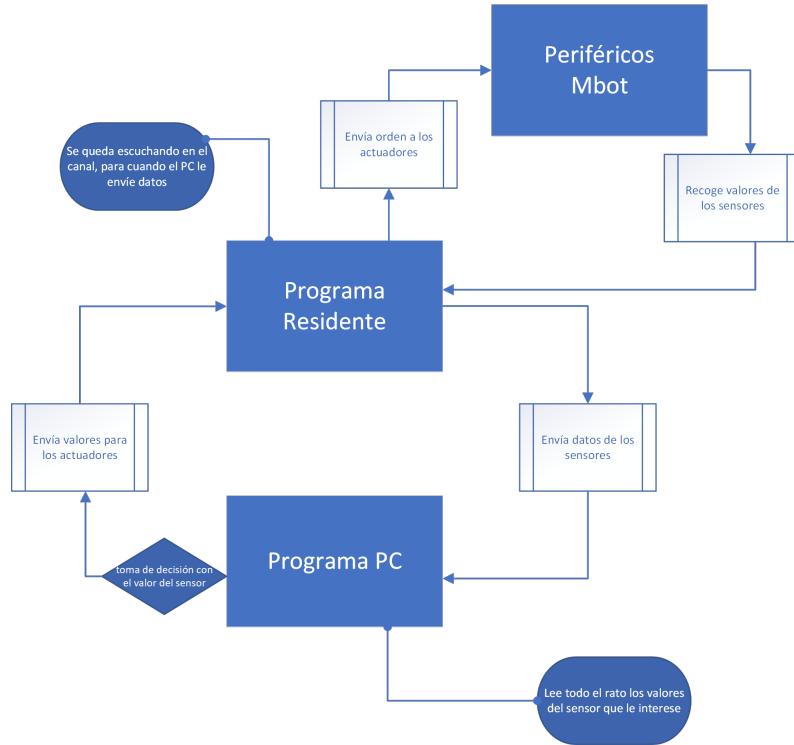


Figura 4.1: Diagrama de comunicaciones

podemos observar, ocurren varias cosas de forma paralela:

- El programa residente está recogiendo los valores de los sensores, conectados a su puerto correspondiente, y los envía por el canal.
- El programa PC recoge los valores del sensor que le interese (dependerá del programa que queramos uno u otro).
- En función del valor del sensor (con respecto a un valor umbral o *threshold*), el programa PC envía por el canal unos valores concretos para un actuador concreto. Lee otra vez el valor -nuevo- del sensor, por si tuviera que cambiar de decisión.
- El programa residente lee del canal si tiene mensajes para un actuador y, en caso afirmativo, recoge los valores y los envía al actuador correcto.

A continuación, detallaremos la forma técnica en la que se han realizado estas dos partes de la comunicación.

4.1.2. Programa residente

La biblioteca residente en Arduino se ha realizado de forma progresiva, encontrando diferentes requerimientos y necesidades a lo largo del proceso.

4.1.2.1. Comunicación serial

En Arduino, para utilizar el protocolo Serial no es necesario cargar ningún módulo añadido, al ser un lenguaje pensado para las comunicaciones electrónicas. La inicialización de la comunicación Serial debe hacerse en la función *setup* de Arduino, donde se coloca el código que debe ejecutarse sólo una vez, al comienzo de la ejecución del programa, con la velocidad en baudios deseada como parámetro.

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
}
```

Listing 4.1: Inicialización del protocolo Serial

Durante el resto del código, cada vez que se quiera escribir o leer del canal, deberá llamarse al 'Serial' que hemos iniciado. Es importante comentar que, antes de llamar a una función que lea del canal, debemos asegurarnos que hay datos que poder leer, o el programa generará un error. Por ejemplo:

```
char mensaje;
void loop() {
    if (Serial.available()>0) {
        mensaje = Serial.read();
        Serial.println(mensaje);
    }
}
```

Listing 4.2: eco en Arduino: lee del canal Serial y lo escribe

A la hora de leer del canal Serial, en este caso en Arduino pero igual con cualquier herramienta, hay que tener en cuenta la cantidad de bytes que se leen cada vez. En este caso, estábamos considerando, a modo de test, un sólo carácter (inicializando la variable como *char*)³, por lo que leemos del canal un solo byte (método *read()*). Sin embargo, si quisieramos leer un *String*⁴, como va a ser necesario para leer los mensajes que envíe el programa PC, tendríamos que inicializar la variable como *String* y leer del canal un *String* entero, esto es, hasta leer el valor nulo en el que éste termina.

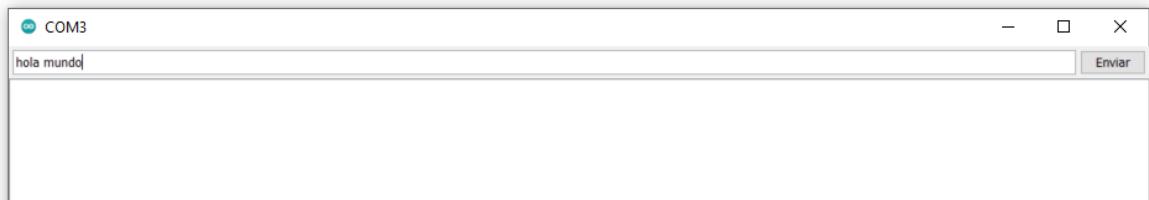
```
String mensaje;
void loop() {
    if (Serial.available()>0) {
        mensaje = Serial.readString();
        Serial.println(mensaje);
    }
}
```

Listing 4.3: eco en Arduino con un Strin

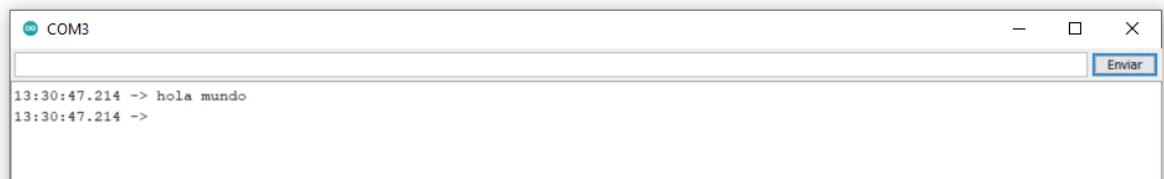
³Variable que almacena un valor de carácter, que ocupa un sólo byte de memoria, y que debe escribirse entre comillas simples: *char mensaje = 'a'*;

⁴Array de caracteres, escrito entre comillas dobles, y que termina en valor nulo ('0' en código ASCII): *String mensaje = "Hello String";*

Dado que primero estamos considerando solamente el entorno Arduino, para poder ver el resultado de esta comunicación, usaremos el Monitor Serie del propio IDE de Arduino, que permite escribir por el canal (lo que luego leamos con `serial.readString()`), y muestra lo que Arduino escribe (`Serial.println()`). El código anterior produciría la siguiente ejecución:



(a) Escribir el String que Arduino lee del canal



(b) Muestra el String que Arduino ha escrito en el canal

Figura 4.2: Visualización del eco de Arduino en el Monitor Serie de Arduino IDE

4.1.2.2. Uso de sensores y actuadores

Una vez comprobadas las comunicaciones, continuamos con los actuadores y sensores del robot. Como se ha explicado en el apartado 3.3.2 de Arduino, es necesario cargar los módulos correspondientes a la placa mCore. Una vez incluido el paquete, podremos utilizar los métodos de inicialización, lectura de sensores, envío de órdenes a los actuadores, etc. Este módulo contiene toda la información que necesitan los diferentes componentes (tipos de valores de entrada o de retorno, diferentes métodos, etc), incluidos ejemplos en los que poder apoyarnos. A continuación describiremos como se utilizan los diferentes actuadores y sensores en Arduino, siendo este paso necesario para crear la biblioteca "Residente".

- Actuadores: Como cualquier variable, los actuadores requieren de una inicialización; esta inicialización de variables corresponden al principio del programa, para poder utilizar la variable en las funciones principales. Luego, depende de qué actuador sea, requerirá de un tipo u otro de valor de entrada:

Motores Los motores de la placa mCore deben inicializarse cada uno por separado; al darles nombres diferentes podremos enviar la orden al motor correcto (por ejemplo, para girar el robot, no debe enviarse la misma orden al motor derecho que al izquierdo, sino invertir el sentido de uno de ellos, dependiendo de en qué dirección se quiera girar).

```
MeDCMotor motorIzdo (M1);
```

```
MeDCMotor motorDcho (M2);
```

Listing 4.4: Inicializar motores Mbot

El valor de entrada para la velocidad es un valor entero (tipo *int*), entre [-255,255], siendo los valores negativos para una velocidad de retroceso. En este caso, para que los motores se paren, no se les enviaría un valor de 0 sino que tiene un método propio.

```
motorIzdo . run (100);
motorDcho . run (100);
delay (100);
motorIzdo . stop ();
motorDcho . stop ();
```

Listing 4.5: Uso de motores Mbot

Leds integrados En este caso, la inicialización del led requiere el puerto (integrado de la placa) y un slot (de número de leds). Por tanto:

```
const int PORT = 7;
const int SLOT = 2;
MeRGBLed led (PORT, SLOT);
```

Listing 4.6: Inicializar leds

Los valores necesarios para los leds se han descrito en la sección de Actuadores 3.2.2.2; Arduino requiere primero enviar la configuración de colores, y después mostrar esa configuración. En este caso, para apagarlos, sí se envía un valor de 0 para los tres valores RGB.

```
led . setColor (ledsInt , redInt , greenInt , blueInt );
led . show ();
```

Listing 4.7: Uso de los leds

Zumbador Como sólo hay un zumbador en la placa, y está integrado en ella, no es necesario ningún puerto. Para que emita la nota deseada, es necesario un valor entero para la frecuencia y otro para la duración (en milisegundos):

```
MeBuzzer buzzer ;
void loop () {
    buzzer . tone (87,3000);
    delay (100);
    // stop the tone playing :
    buzzer . noTone ();
}
```

Listing 4.8: Uso del zumbador

- **Sensores:** Todos los sensores en Arduino tienen un método de lectura, además del de inicialización. Si queremos almacenar el valor recogido en una variable, Arduino requiere que ésta sea declarada también.

Sensor de ultrasonidos Al no ser un sensor integrado a la placa, es necesario que se especifique en qué puerto se ha conectado. Éste devuelve la distancia, en centímetros (como valor entero), a la que se encuentra un obstáculo.

```
MeUltrasonicSensor ultraSensor(PORT_3);
void loop() {
    int DistanceValue = ultraSensor.distanceCm();
    Serial.println(DistanceValue);
}
```

Listing 4.9: Sensor de distancia

Sensor de luz El puerto especificado en la llamada al método, aunque integrado en la placa, especifica el pin interno al que está conectado. Devuelve un valor entero, de cantidad de luz. En este caso, para poder utilizar un valor de *threshold* necesitaremos saber qué valor de luminosidad aproximada tiene la habitación (no tiene por qué ser siempre la misma)

```
MeLightSensor lightSensor(PORT_6);
void loop() {
    int LigthValue = lightSensor.read();
    Serial.println(LigthValue);
}
```

Listing 4.10: Sensor de luz

Sensor infrarrojo Requiere también especificar a qué puerto se le ha conectado, devolviendo de la llamada de lectura un valor entero correspondiente a qué combinación de sensores sigue líneas están tapados o no (explicados en la sección de Actuadores (3.2.2.2))

```
MeLineFollower SigueLineas(PORT_1);
void loop() {
    int LineFollowerValue = SigueLineas.readSensors();
    Serial.println(LineFollowerValue);
}
```

Listing 4.11: Sensor siguelíneas

Una vez conocido el funcionamiento de los componentes del mBot, tenemos la capacidad de abstraer este conocimiento y hacer con ello las funciones que compondrán esta biblioteca Arduino, para estructurar el programa residente de forma que funcione independientemente de qué datos se le envíen desde el programa PC. Esta estructura de biblioteca se explicará en la sección 4.2, una vez conocida también la parte de programación en Python.

4.1.3. Programa PC

La finalidad de la "Parte PC" es construir una biblioteca de funciones que contengan la lógica de conexión, lectura, escritura, etc, y que la escondan a los alumnos, teniendo ellos que preocuparse solamente de llamar a una función con un nombre amigable. A continuación describiremos los puntos importantes que se han necesitado en la preparación de esta biblioteca:

Protocolo Serial En este caso, es necesario incluir el módulo Serial al principio del programa de Python. Para iniciar una comunicación Serial, al igual que con Arduino, es necesaria la velocidad en baudios a la que conectarse (como dijimos, debe ser la misma a la que se ha abierto la comunicación en la parte de Arduino); además es necesario el puerto al que está conectado el robot (de forma parecida a la que se especificaba en el Arduino IDE) y un tiempo de *timeout* para el que, si no se ha establecido la comunicación, se eleva una excepción (que se deberá recoger con un bloque de *try..catch*)

```
import serial
serial = serial.Serial('com3', 9600, timeout=1)
serial.close()
```

Para leer del canal, deberemos tener en cuenta igualmente la cantidad de información que queramos leer. En general, como estaremos leyendo Strings de mensajes, python contiene (como Arduino) la función de lectura de una línea completa (hasta fin de línea).

```
serial.readline() #leer hasta EOL
```

Sin embargo, se puede leer un solo byte (como en el caso de leer un solo carácter), o una cantidad de bytes especificada.

Leer del canal Dado que el String leído con el valor de un sensor, lo ha enviado Arduino y ha atravesado el canal, es necesario decodificarlo para obtener un String sin los caracteres de retorno de carro, end of line, etc. Si no, no podríamos utilizar como número ese valor, ya que al intentar convertirlo desde String, no debe tener ningún otro carácter.

```
Data = serial.readline()
decoded = Data.decode()
sensorValue = float(decoded)
```

Escribir en el canal Al igual que para leer, para escribir en el canal y asegurarnos que en el programa residente le llegan datos que sea capaz de interpretar, el envío de datos (texto) debe hacerse forzando la codificación en UTF-8.

```
Data = "Hello _World"
serial.write(bytes(Data, 'utf-8'))
```

Estas decisiones de codificaciones, tanto para escribir como para leer del canal, son el resultado de pruebas entre uno y otro lado (Arduino - Python), con varios tipos de datos y de formas de leer, con la finalidad de asegurar que ambos lados pueden establecer una comunicación con éxito y que las opciones necesarias están recogidas.

4.2. Resultado: programa PC y programa residente

En esta sección explicaremos cómo se juntan los dos programas, Residente y PC, y cómo se utilizan las dos bibliotecas.

Como se ha adelantado anteriormente, para que la comunicación sea posible es necesario un protocolo de mensajes; es necesario asegurarse que ambas partes recojan la información correcta y sepan qué deben hacer con ella. Poniendo un ejemplo: el Programa Residente debe estar

preparado para recibir datos que enviar a los actuadores. Sin embargo, cada actuador requiere datos de entrada diferentes, por tanto, debe estar preparado también para saber para qué actuador le están enviando los datos. Igualmente, el Programa PC debe estar preparado para enviar la información de forma que sea inequívoca.

El mismo caso se da para los sensores. El Residente tiene que enviar el dato de forma que el PC pueda saber que el dato que lee es el que necesita (no vale para lo mismo si lee el sensor de luz que el del Sigue Líneas)

4.2.1. Protocolo de mensajes

Este sistema de codificación de los mensajes, funciona de la siguiente forma:

- Sensores

- Dado que la forma más simple, efectiva en esa simpleza, de enviar datos es un string, será así como se enviará la información. Para ello, cuando se lea el dato del sensor, habrá que convertir el valor entero en un String.
- A cada sensor se le asignará un número, único (un identificador), que le representará sólo a él. Así, al sensor de ultrasonidos le corresponderá un 0, al Sigue Líneas un 1, etc.
- El Programa Residente, enviará la información en un único mensaje, como String, concatenando el identificador de sensor con el valor de este sensor recogido del robot, separando los dos valores con punto y coma (para diferenciarlo de una posible coma decimal).
- El Programa PC, cuando está leyendo, separará el mensaje por ';' y ,dependiendo del primer *substring*, devolverá al programa principal el tipo de sensor en texto, para que sea amigable para un alumno.

- Actuadores

- De forma análoga, a cada actuador se le asignará un identificador numérico.
- El Programa PC concatenará, en un mismo mensaje, el identificador del actuador, y los datos necesarios para ese actuador (en caso de los LED, por ejemplo, el valor qué leds encender y los tres valores RGB). Igualmente, todos estos valores irán separados entre ';
- Al leer del canal, el Residente separará el primer valor por el ';' y dependiendo de qué identificador sea, leerá una cantidad de valores u otra, y enviará esos valores a un actuador u otro (convirtiéndolo primero a valor numérico).

Como ejemplo, el siguiente código correspondría al envío de información para encender los led:

```
mensaje = "0;2;255;0;0"
send_Message(mensaje, serial)
```

Listing 4.12: Envío de un mensaje desde el Programa PC

Y el siguiente código, a la lectura de ese mensaje en el lado Residente:

```

void loop () {
    String mensaje = Serial.readString();
    int indexActuator = mensaje.indexOf(';');
    String Actuator = mensaje.substring(0, indexActuator);
    String mensajeActuador = mensaje.substring(indexActuator+1);
    if (Actuator == "0") {
        int IndexLeds = mensaje.indexOf(';');
        String leds = mensaje.substring(0, IndexLeds);
        int IndexRed = mensaje.indexOf(';', IndexLeds+1);
        String red = mensaje.substring(IndexLeds+1, IndexRed+1);
        int IndexGreen = mensaje.indexOf(';', IndexRed+1);
        String green = mensaje.substring(IndexRed+1, IndexGreen+1);
        String blue = mensaje.substring(IndexGreen+1, -1);
        int ledsInt = leds.toInt();
        int redInt = red.toInt();
        int greenInt = green.toInt();
        int blueInt = blue.toInt();
        led.setColor(ledsInt, redInt, greenInt, blueInt);
        led.show();
    }
}

```

Listing 4.13: Lectura del mensaje en el lado Arduino

Como ventaja añadida, con este sistema de mensajes la funcionalidad de la plataforma PyBo-Kids2.0 es fácilmente ampliable a más sensores o actuadores, puesto que los identificadores son números enteros.

4.2.2. Bibliotecas

Obviamente, esta codificación de los mensajes, junto con toda la funcionalidad correspondiente al uso del canal Serial, es la que estará "escondida" para que los alumnos utilicen simplemente funciones con nombres autoexplicativos, tales como 'turnOnLeds' o 'readSensor'. Toda la lógica de funciones, de parseo de mensajes, de lectura o escritura en el canal, está integrada en la biblioteca, que deberá cargarse como cualquier otra en python.

Así, si utilizamos como ejemplo el mismo que en 4.12, la funcionalidad en la biblioteca sería la siguiente:

```

def send_Message (message, serial):
    serial.write(bytes(message, 'utf-8'))
def create_Message_Led (list):
    mensaje = f"0;{list[0]};{list[1]};{list[2]};{list[3]}"
    return mensaje
def turnOn_Leds(list, serial):
    mensaje = create_Message_Led(list)
    send_Message(mensaje, serial)

```

Mientras que, en el programa principal, si un alumno quisiera encender los dos led a rojo:

```
from library_Mbot_v1 import *
import sys
import serial
turnOn_Leds([0,255,0,0], serial)
```

En la parte de Arduino, por otro lado, tenemos toda la biblioteca en un solo archivo, que será el que carguemos en la placa base del robot. Con la finalidad de que pueda ser fácilmente ampliada, abstraeremos todo lo posible en funciones. El ejemplo anterior, quedaría entonces:

```
void read_LedsMessage ( String mensaje ) {
    int IndexLeds = mensaje.indexOf(' ');
    String leds = mensaje.substring(0, IndexLeds);
    int IndexRed = mensaje.indexOf(';', IndexLeds+1);
    String red = mensaje.substring(IndexLeds+1, IndexRed+1);
    int IndexGreen = mensaje.indexOf(';', IndexRed+1);
    String green = mensaje.substring(IndexRed+1, IndexGreen+1);
    String blue = mensaje.substring(IndexGreen+1, -1);
    int ledsInt = leds.toInt();
    int redInt = red.toInt();
    int greenInt = green.toInt();
    int blueInt = blue.toInt();
    led.setColor(ledsInt, redInt, greenInt, blueInt);
    led.show();
}

void loop() {
if (Serial.available()>0){
    String mensaje = Serial.readString();
    int indexActuator = mensaje.indexOf(' ');
    String Actuator = mensaje.substring(0, indexActuator);
    String mensajeActuador = mensaje.substring(indexActuator+1);
    if (Actuator == "0") {
        read_LedsMessage(mensajeActuador);
    } else if (Actuator == "1") {
        read_MotorsMessage(mensajeActuador);
    } else if (Actuator == "2") {
        read_BuzzerMessage(mensajeActuador);
    }
}
}
```

La velocidad, se ha establecido finalmente en 115200 baudios; al añadir los sensores fue necesario subir el valor para mantener la comunicación de forma útil. Este valor se establece como constante, para asegurarnos que es el mismo valor en las dos partes PC y Residente.

```
def open_PortSerial (baudios, timeOutSec):
    try:
        serialAux = serial.Serial(115200, baudios, timeout=timeOutSec)
        serialAux.setDTR(False)
```

```

sleep(1)
serialAux = flushInput()
serialAux.setDTR(True)
sleep(1)
return serialAux
except serial.SerialException:
    sys.stderr.write("Error al abrir puerto (%s)\n")
    sys.exit(1)

```

```

DistanceSensor_turnLedClose.py 5
2017-tfg-eva_garcia > Modo zombie > Programa PC - python > DistanceSensor_turnLedClose.py > ...
1 import sys
2 import serial
3 from time import sleep
4 from Mbot import *
5 #-- Cadena de pruebas a enviar
6
7 #-- Sacar mensaje inicial
8 print('Lee del sensor de distancia (ultrasonico) y enciende led rojo')
9
10 serial = open_PortSerial(57600,'com3',1)
11
12
13 while 1:
14     try:
15         sensorMessage = read_Sensor(serial)
16         if (sensorMessage == -1):
17             continue
18         else:
19             if (sensorMessage[0].lower() == 'distance'):
20                 if (sensorMessage[1] < 10):
21                     turnOn_Leds([0,255,0,0],serial)
22                 else:
23                     turnOn_Leds([0,0,255,0],serial)
24             except KeyboardInterrupt:
25                 send_Quit(serial)
26                 break
27
28 sys.exit(0)
29
30

Mbot_residente.ino 2
2017-tfg-eva_garcia > PyBoKids-2.0 > Mbot_residente > Mbot_residente.ino > loop()
11 MeBuzzer buzzer;
12 MelightSensor lightSensor(PORT_6);
13
14
15
16 void Send_DistanceMessage () {
17     int DistanceValue = ultraSensor.distanceCm();
18     String DistanceValueString = String(DistanceValue);
19     String DistanceMessage = "0;" + DistanceValueString;
20     Serial.println(DistanceMessage);
21 }
22
23 void Send_LineFollowerMessage () {
24     int LinefollowerValue = siguelineas.readSensors();
25     String LinefollowerString = String(LinefollowerValue);
26     String LinefollowerMessage = "1;" + LinefollowerString;
27
Library_Mbot_v1.py
2017-tfg-eva_garcia > PyBoKids-2.0 > Library_Mbot_v1.py > open_PortSerial
76
77 def create_Message_Led (list):
78     mensaje = f'{list[0]};{list[1]};{list[2]};{list[3]}'
79     return mensaje
80
81 def create_Message_Buzzer(list):
82     mensaje = f'{list[0]};{list[1]}'
83     return mensaje
84
85 def create_Message_Motor(list):
86     mensaje = f'{list[0]};{list[1]}'
87     return mensaje
88
89 #####

```

Figura 4.3: Programa PC y Residente

Como apunte añadido, y dado que la placa Arduino no se "apaga" dejando a neutro todos los valores electrónicos (si apagamos el robot teniendo los led encendidos, cuando se vuelva a encender, lo hará con ellos encendidos), hacía falta una forma de poder apagar todo. En el lado Arduino tendremos una función para 'apagar' cada actuador, mientras que en el lado Python tendremos una función 'Quit', que pedirá al residente apagarlo todo y parar. El uso de esta función dependerá de qué forma estemos programando el programa principal. Si, por ejemplo, estuviéramos leyendo de teclado y controlando el flujo con esas lecturas y dependiendo de uno de ellos, podríamos mandar la orden directamente. Sin embargo, si tenemos el flujo ocupado leyendo de los sensores, no podemos estar leyendo del teclado a la vez. Podríamos utilizar un segundo hilo de ejecución (*thread*), pero encontramos que relentizaba la ejecución, importante en la lectura de los sensores, además de ser un concepto bastante más complejo para enseñárselo a un alumno o alumna que acabe de empezar a programar. La forma más efectiva por su simplicidad es capturar el terminar la ejecución en Python (Ctrl + C en Windows) y enviar ese mensaje *quit* antes de terminar la ejecución de forma controlada, en vez de con el error *Crtl + C*.

```
if (Serial.available() > 0) {
    String mensaje = Serial.readString();
    if (mensaje.equalsIgnoreCase("quit")) {
        Stop_Motors();
        Stop_Leds();
        Stop_Buzzer();
        exit(0);
    }
}
```

Figura 4.4: Control de Fin de ejecución

La idea de controlar los errores es más sencilla de enseñar a los alumnos, aunque al principio del curso, se les ayudará poniendo el bloque directamente en el programa ”esqueleto”, base para sus programas. Esto se explicará en profundidad en el Capítulo 5.

Tenemos, por tanto, una abstracción de la sintaxis y la complejidad de las herramientas usadas, mientras que seguimos pudiendo utilizar un lenguaje de programación real, como es Python, en vez de Scratch, para ampliar los conocimientos que se habrían iniciado con éste último. Tendremos la oportunidad de ampliar conocimientos con conceptos como listas, diferentes módulos, entrada y salida estándar, etc.

Capítulo 5

Aplicación educativa

En este capítulo proporcionaremos una propuesta educativa, basada en ejercicios prácticos, cuyo objetivo global es el aprendizaje de robótica y programación, y de sus principios y conceptos básicos.

Estos ejercicios prácticos utilizarán dos herramientas diferentes, cuyo orden temporal es fijo por necesidad y lógica educativa: la primera herramienta, Scratch, la nativa del fabricante del robot mBot, es más sencilla al no ser un lenguaje de programación al uso. Una vez superada la primera fase de aprendizaje, será posible pasar a un lenguaje de programación con sintaxis, compilación, ejecución por comando, etc, utilizando Python y la plataforma diseñada en este Trabajo Fin de Grado.

5.1. Contexto

Los ejercicios de Scratch explicados a continuación no son el resultado de un diseño meramente teórico, sino que fueron puestas en práctica durante un curso completo, en el marco de unas clases extraordinarias de robótica, a alumnos y alumnas de Educación Primaria. Por tanto, pudo comprobarse la acogida y la efectividad de los contenidos, en algunos casos adaptando la dificultad o añadiendo pasos a la primera versión del ejercicio si fuera necesario.

La plataforma Python original, PyBo-kids, requería de una instalación de JdeRobot y Gazebo, compleja, en Linux. Durante el curso escolar, se comprobó que esta era poco adaptable a un curso completo de alumnos. Para este Trabajo Fin de Grado diseñamos por tanto, una versión de la plataforma que poder usar fácilmente en un contexto de clase colectiva. No es necesario instalar nada, aparte de Python, en los equipos (normalmente equipos de escuela, de prestaciones poco óptimas). De hecho, dado que el residente completo va grabado en el robot y no es necesario cambiar el programa grabado cuando se quiera usar una práctica diferente, no es necesario instalar siquiera Arduino. Sólo será necesario, entonces, la instalación de Python y el archivo .py correspondiente a la biblioteca de PyBoKids-2.0

Las prácticas descritas para la segunda parte son una transcripción de algunas prácticas de Scratch (las relativas a comportamientos), adaptadas a los periféricos disponibles en PyBo-Kids-2.0 y con las limitaciones físicas que conllevan tener el robot conectado por cable al PC (para mantener la comunicación entre Python y el canal Serial).

5.2. Objetivos docentes: metodología

Las metodologías de cualquier tipo de programación son perfectamente utilizables en robótica y en el trabajo con jóvenes. La más intuitiva de ellas, de hecho la que ellos mismos utilizan de una forma natural (aunque no completamente ordenada) es *Agile*¹. Aunque a los estudiantes no les explicaremos explícitamente que estamos usando este método, sino que diseñaremos los ejercicios con el fin de que deba usarse, y les guiaremos durante la ejecución con este método. Aunque las etapas de una iteración Agile clásica son cinco (*Plan*, *Diseño*, *Desarrollo*, *Test* y



Figura 5.1: Esquema de una iteración Agile

Feedback), al ser Scratch y las prácticas un entorno muy sencillo, haremos con éstas un Agile simplificado, fusionando las fases de *Plan* y *Diseño*, que con los alumnos serán trabajo común. Las fases de *Test* y *Feedback* no las fusionaremos propiamente dicho, sino que las haremos a la vez y poniendo las ideas en común: probando el ejercicio en el robot y comprobando si el comportamiento es el deseado.

Durante las clases, por tanto, la metodología será de trabajo en común para el planteamiento del ejercicio, e individual (o por parejas dependiendo de el ratio de robot por persona) para el desarrollo y el test.

5.3. Primera etapa: Scratch

Las prácticas de esta etapa están pensadas con unos objetivos docentes individuales, y otros globales con respecto al resto de ejercicios. Además, no podemos perder de vista que, para los estudiantes, las clases de robótica deben ser *divertidas*, no son curriculares, por lo que es importante mantener su atención creando ejercicios dinámicos y diferentes cada vez, además del contenido educativo.

5.3.1. Prácticas

5.3.1.1. Actuadores

Como se ha explicado anteriormente, el propósito de un actuador es ejecutar la orden que recibe de la placa. Es, por tanto, muy visual y conveniente para introducir el curso de robótica,

¹Filosofía de Desarrollo web basada en iteraciones

pues da pie a equivocarse y aprender de los errores de forma mucho más intuitiva que con otros componentes.

Carreras Obviamente, lo más visual del robot Mbot son los motores. También es lo más intuitivo y esperable de un robot en general: que se mueve por sí mismo. Es uno de los componentes más sencillos de programar, ya que Scratch ofrece un desplegable con los posibles valores que aceptan los motores del Mbot. Además, tiene métodos directamente para avanzar, retroceder y girar, muy cómodos para el primer contacto con el robot y válidos para este ejercicio en concreto.

En vez de simplemente *mover* el robot, el ejercicio se pensó como una carrera entre los robot de todos los alumnos, para despertar su interés y hacerlo más entretenido; sin una utilidad práctica, o un juego, los alumnos perdían interés rápidamente o, incluso, no lo tenían desde el principio.

Ejercicio Extra Otro punto que se pudo comprobar con la experiencia empírica es que era mejor hacer varias versiones de un mismo ejercicio, aunque la dificultad fuera la misma, con objetivos distintos. Los alumnos no pierden la atención y aprenden que una misma solución, con pequeñas variaciones, vale para distintas situaciones. Además, así queda cubierta la situación de que los alumnos vayan a distintas velocidades y unos terminen el ejercicio base mientras otros no.

Una versión del este ejercicio de carreras es hacerla con obstáculos fijos. Los alumnos tendrán que medir en tiempo la distancia entre obstáculos y jugar, con las velocidades y los giros. Quién mejor combinación encuentre, mejor tiempo hará en carrera.

Con este ejercicio, con sus diferentes versiones de obstáculos y de distancias, introducimos el concepto de actuador, explicando en clase la definición, y también el concepto de robot (primer concepto que se comentará y al que volveremos repetidamente durante el curso para revisar la definición que den los estudiantes). También el concepto de "programación secuencial temporal", ya que para evitar los obstáculos deberán programar Scratch para avanzar durante x tiempo, después girar, volver a avanzar, etc.

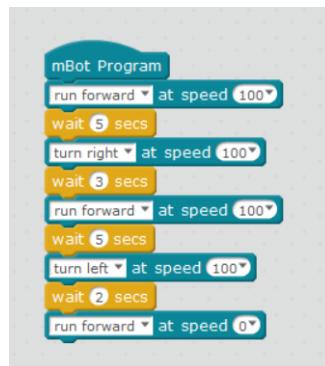


Figura 5.2: Ejemplo de solución

Cumpleaños feliz Otro actuador sencillo de usar es el zumbador integrado en la placa. Es algo más complicado, pues las notas musicales no son las más conocidas y, sobre todo en los alumnos más jóvenes, no están acostumbrados a una escala musical. Sin embargo, no puede comprobar que no tardan mucho en entender el sistema de escalas; se les ayudará dándoles la tabla de equivalencias entre las notas americanas y europeas.

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
C	D	E	F	G	A	B

Cuadro 5.1: Equivalencia entre notas

Una vez entendida la diferencia de notas y comprobado cómo funciona el zumbador, les proponemos que el robot entone la canción de cumpleaños feliz - o cualquier otra que seguro conozcan-. No sólo sirve para el actuador, sino que introducimos el concepto de repetición (bucles). La idea principal es dejarles al principio que hagan el ejercicio todo seguido y después les ayudamos a entender que están repitiendo código: hay estrofas que se repiten. Ven la necesidad, pues, de meter esas estrofas dentro de un bucle de repetición de tantas veces como sea necesario.

Ejercicio Extra. Como ocurrió antes con las carreras, una vez han terminado la primera canción, es bueno invitarles a que intenten que el robot *cante* otras melodías que conozcan y les apetezcan.

S.O.S. El siguiente actuador del pack del Mbot son las luces LED de la placa, el rango de colores RGB permite que cada alumno pueda personalizar los colores como más les guste. El propio lenguaje Scratch permite el rango de cada color entre 0 y 255 (aunque en la práctica, no sean notables los cambios pequeños en esa escala).

La finalidad del ejercicio es que, con luces, el robot pida ayuda en lenguaje morse: tres pulsos cortos, tres pulsos largos, y tres pulsos cortos.

Como se ha comentado anteriormente, los alumnos son más proactivos cuando ven una utilidad mínimamente real a lo que se les pide, y conocen el lenguaje morse -o es muy sencillo de explicar- y la utilidad de pedir ayuda en un lenguaje universal.

En este ejercicio reforzaremos las duraciones; el progreso temporal de las órdenes. Los puntos y rayas del morse los traducimos a esperas de menos y más tiempo, respectivamente. También reforzaremos el concepto de bucle, pues el mensaje podremos repetirlo con un bucle en vez de repitiendo todas las órdenes.

Ejercicio Extra. Como siempre, una vez que han conseguido que el mensaje de socorro sea entendible, cambiamos el ejercicio a escribir en morse cualquier mensaje que se les ocurra (con la tabla de equivalencias del abecedario) y a mandar el mismo mensaje de socorro con luz y sonido a la vez.

Camión Como último ejercicio solamente de actuadores, intentaremos juntarlos todos, a la vez que todavía no introducimos ningún sensor. Proponemos, pues, emular el comportamiento de un camión, algo a lo que están acostumbrados y que no se les habría ocurrido que era automatizable. Un camión, haga lo que haga, si da marcha atrás, pitará (con los zumbadores) y encenderá las luces naranjas.

Vamos metiendo, poco a poco, acciones simultáneas, para que tengan que preocuparse de más de un componente (de más de un bloque de Scratch). El objetivo es el aprendizaje de que, en robótica, un comportamiento aparentemente trivial es la suma de muchos comportamientos simultáneos y dependiente uno de otro.

Con este ejercicio, aprendemos el concepto, tan necesario en la programación de robótica, de *ocurrencia*. Cuándo, y sólo cuándo, el camión da marcha atrás, es cuando se encienden las luces y sirenas.

5.3.1.2. Sensores

Como se ha comentado en el Capítulo 3, los sensores recogen información del medio y la devuelven en forma numérica. Es misión del programador, pues, procesar el retorno y la interpretación de esa información de forma correcta, unívoca y cubriendo todos las posibilidades. Esto requiere unas habilidades más avanzadas, además de los conceptos básicos de programación como bucles, condicionales, ocurrencias, etc, que se han visto en los ejercicios anteriores de actuadores. Los alumnos deberán ser capaces de:

1. Decidir qué información necesitan del entorno para el problema que se les presenta. Es decir, dividir el problema en pequeños trozos hasta llegar al más pequeño de ellos. Éste será del que tengan que abstraer el tipo de información que necesitan conocer para poder solucionarlo.
2. Una vez conocida la información que necesitan, deberán elegir qué sensor es el que mejor les va a dar como respuesta esa información. Al principio, será una cuestión trivial, pues sólo habrá una posibilidad, pero después introduciremos ejercicios que requieran de varias *informaciones* distintas, por lo cual, de varios sensores.
3. Tras obtener del sensor el valor de retorno numérico, es misión del alumno diseñar la respuesta de vuelta del robot, es decir, cómo deba comportarse dependiendo de esa respuesta. No será lo mismo si queremos acercar el robot a un muro lentamente para aparcar, que si debemos tener cuidado de que no choque o si debe perseguir a otro robot: el sensor es el mismo, y el valor de retorno también, pero el comportamiento no tiene por qué ser el mismo.
4. Fijándose en la necesidad original, y en las repuestas que se reciben de cada sensor, deberán ser capaces de granular la sensibilidad del sensor, o del valor de control, para obtener un comportamiento lo más refinado y preciso posible (siempre teniendo en cuenta las limitaciones técnicas del mBot).

Estas habilidades las iremos trabajando poco a poco, diseñando ejercicios que las introduzcan a la vez, pues son necesarias todas, pero con diferentes niveles de dificultad.

Como siempre, en cada ejercicio iremos guiando a los alumnos en la división del problema de forma **bottom-up**; esta división de los problemas es una de las habilidades más importantes en programación, y una de las cosas sobre las que más haremos hincapié.

No chocar contra un muro Uno de los actuadores más visibles, y por el que los alumnos siempre preguntan, es el sensor de proximidad (sensor de ultrasonidos). El bloque de Scratch para este sensor devuelve un valor numérico, la distancia a la que se encuentra del obstáculo que esté leyendo. Por tanto, para los alumnos es tan cómodo como trabajar con "distancia x del sensor".

Este ejercicio se diseñó con el mismo ánimo que el del camión (??), siguiendo la idea de que programen cosas que conocen, que utilizan en su día a día, con el fin de que aprendan la idea que la robótica es algo que está incluida en nuestras vidas y cualquiera puede dedicarse a ello.

El objetivo es, por tanto, programar el sensor de proximidad de los coches, que cuando aparcan y se acercan al coche de delante (en este caso, a un muro), primero pita, si te acercas más pita más rápido y, al final, se para.

Como es el primer sensor que utilizan, lo orientaremos en etapas.

Primero, necesitan aprender cómo se usan el sensor y el valor de retorno. Es decir, el bloque de Scratch que llama al sensor no sirve de nada sin añadirlo a algún otro bloque que utilice el valor que el sensor lee del entorno (por ejemplo, un bloque condicional). Este primer ejercicio lo haremos utilizando directamente el bloque de lectura del sensor; más adelante introduciremos el concepto de variable.

Después, tendrán que conseguir la parte difícil del ejercicio: que el robot se pare cuando se acerque al muro. Así comprobarán de forma real cómo funciona el sensor, además de ajustar la sensibilidad de "cuánto de cerca" debe estar el robot para considerar que está pegado al muro pero para qué dé tiempo a pararlo sin que se choque.

Una vez conseguida esta primera parte, que requiere de bloques condicionales, de ocurrencia o de espera (no hay una sola forma correcta de hacerlo), solucionar el ejercicio completo es -relativamente- inmediato. Como se ha explicado antes, el comportamiento deseado es que, cuando el robot se acerque un poco al muro, pite ligeramente (con el zumbador de la placa, que ya se ha utilizado antes; véase 5.3.1.1); cuando se acerque algo más, pite más intensamente y, cuando esté muy cerca (la distancia que se haya decidido en la primera parte del ejercicio), parará para no chocar. **Ejercicio extra.** Siempre podemos refinar algo más el ejercicio para que, además de pitir, el robot vaya disminuyendo la velocidad según se acerque al muro hasta, finalmente, pararse. Esto sería una aproximación un poco más cercana al aparcamiento autónomo que llevan incorporado algunos de los coches más modernos.

Como ampliación, este ejercicio puede adaptarse para meter la funcionalidad secundaria dentro de **funciones** (en Scratch, nuevo bloque), con un parámetro de entrada del que dependerá la velocidad o la frecuencia de pitido. Estas funciones serán llamadas más tarde, desde el programa principal, con el parámetro de entrada correspondiente a cuánto de cerca esté el robot de la pared. Obviamente, esta funcionalidad no la podremos introducir nada más empezar con los sensores. La experiencia nos demuestra que es mejor esperar a que sean los propios alumnos los que creen las necesidades, y la necesidad de una *función* no la verán hasta que no tengan programas muy grandes (con muchos bloques) y difíciles de leer; será entonces cuando ellos mismos pidan de forma natural paquetizar el código. Esta ampliación la reservaremos, por tanto, para retomarla cuando hayamos visto otro ejercicio en el que sí se necesiten las funciones. Como los alumnos guardan los escenarios con el código de los ejercicios, será fácil retomarlo para cambiarlo.

Luces automáticas En este ejercicio, utilizaremos el sensor de luz, también integrado en la placa. Siguiendo la idea de 'programar comportamientos de la vida diaria', en este caso desarrollaremos el sistema de las luces de un coche. Éstas se encienden automáticamente cuando no hay luz, bien porque fuera de noche, bien porque fuera un día nublado. Es decir, que si sólo programáramos las luces para que se encendieran a partir de las 8 de la noche, porque es la hora a la que en verano debiéramos encender las luces, en invierno estaremos horas sin luz pues anochecerá mucho antes. Por tanto, necesitaremos un sistema que nos valga siempre, no dependiendo de la hora a la que anocazca o de si el día es nublado o despejado.

Este ejercicio es muy simple por naturaleza, así que lo utilizaremos para introducir un método de cálculo del valor de referencia de la luz ambiental: al principio del ejercicio, hemos comprobado el nivel de luz "a mano". Si cambiamos el sitio, o cualquier otro factor, habrá que volver a sacar este nivel barrera. Para tener que evitar hacer esto, metemos

la comprobación en el programa principal, al principio del código.

El nivel de luz ambiente que se usará como nivel umbral se obtiene leyendo el nivel de luz del sensor durante n veces (10, por ejemplo), sumándolos y dividiéndolos entre n ; es decir, se hace una media aritmética básica de todos los niveles de luz que se hayan leído. En Scratch, se meterá en un bucle el lector del sensor, combinándolo con esperas para coger valores diferentes, y se irá sumando en una variable (a sí misma); después se dividirá entre el número de veces que se hayan dado vueltas al bucle. A partir de calcular este valor umbral, se programará el robot para que, si apagamos las luces, se enciendan los LED de la placa (que sería el equivalente a las luces del coche).

Esta ampliación del ejercicio nos sirve para explicar el modo correcto de establecer 'variables de entorno'. Es decir, el entorno tiene unas características, que casi nunca serán fijas o deterministas y que se necesitan como datos para un desarrollo más sólido frente a errores o cambios en el entorno. Además, también servirá para aprender el concepto de **variable** de programación. Una variable es una "caja" donde se guarda un valor que vamos a querer utilizar más tarde. En este caso, el valor de la suma de las lecturas consecutivas del lector.

Este método de establecer el entorno en variables que se vayan a utilizar y, sobre todo, la necesidad de ello, se volverá a trabajar, con el ánimo de consolidar lo aprendido, en el siguiente ejercicio.

Huye-luz Esta vez, y no como ejercicio extra sino como uno distinto, diseñamos otro problema con el mismo sensor que ya hemos utilizado en el anterior. El motivo de que sea un ejercicio diferente es que no es un añadido al ejercicio, sino que cambia el requerimiento inicial del problema; éste será que el robot huya de la luz, persiguiéndolo con una linterna. Utilizaremos el mismo método de sacar el valor umbral de referencia pero, esta vez, si estamos por encima de ese valor (en vez de por debajo como antes), el robot tendrá que huir, dando marcha atrás y girando.

Sigue-líneas El siguiente sensor del robot es el sensor infrarrojo. Utilizaremos, al principio, el circuito para seguir las líneas que viene en el kit del mBot, que hace un ocho con líneas negras sobre blanco. Es importante que cualquier otro circuito que vayamos a hacer seguir al robot tenga claramente diferenciados el negro y blanco, pues el sensor es binario: está "tapado" o no, y si el suelo es oscuro entenderá que es una línea, y se comportará de forma errónea.

El objetivo del ejercicio es, obviamente, que el robot siga, sin ninguna interacción humana, el circuito sin salirse de las curvas. Para los alumnos más jóvenes, atacar este problema directamente resulta demasiado grande y no sabrán como empezarlo sin una guía para aprender a usar el sensor. Lo más difícil de este sensor, en comparación con los otros, es el concepto de *respuesta binaria*. El bloque de Scratch permite acceder a este sensor y darle dos opciones: sensor en negro o sensor en blanco. El primer ejercicio sería, entonces, saber qué significa que el sensor responda negro o blanco (por ejemplo, que encienda las luces), tapándolo y destapándolo, lo que será equivalente a que esté sobre la línea negra o no.

La siguiente dificultad es pensar en las diferentes combinaciones de sensor derecho e izquierdo con el blanco y negro. En programación clásica, las combinaciones serían 00, 01, 10, 11, pero esto no vale en Scratch ni para los alumnos. Tendrán que decidir, con el

robot y el circuito delante, qué significa cada posibilidad:

- El sensor derecho sea negro y el izquierdo negro: está encima de la línea.
- El sensor izquierdo sea negro y el derecho blanco: se ha desviado hacia la derecha (o está en una curva a izquierdas).
- El sensor derecho es negro y el izquierdo blanco: se ha desviado hacia la izquierda (o está en una curva a derechas).
- Los dos sensores leen blanco: se ha salido completamente de la línea.

A partir de separar y entender las posibilidades que tenemos con los sensores, el siguiente paso es decidir qué hacer en cada caso de los especificados; se hará programando cada posibilidad a la vez que se diseña la solución.

- Si los dos sensores son negros y el robot está en la línea, deberá continuar avanzando sin cambios.
- Si el sensor izquierdo es negro pero el derecho no, y el robot está desviado a la derecha, o en una curva, tendrá que girar hacia la izquierda; es decir: seguirá la trayectoria de la curva.
- Del revés, si el robot está en una curva desviándose a la izquierda, tendrá que girar a la derecha para seguir la curva.
- Si el robot lee los dos sensores en blanco, es que se ha salido del circuito y tendrá que volver a él (girando o dando marcha atrás hasta que el sensor vuelva a ser negro).

Una vez solucionado el ejercicio, sólo quedará perfeccionarlo haciendo los giros más precisos para que el movimiento sea más fluido y continuo. La primera vuelta de este perfeccionamiento se hará ajustando las velocidades y las esperas. La segunda vuelta, la forma más correcta de hacerlo, será siguiendo la idea de "girar hasta estar en el sitio correcto"; es decir, que mantendremos el movimiento deseado (el correspondiente a cada caso), hasta que los dos sensores lean negro y esté otra vez sobre la línea.

Como puede observarse, este ejercicio es un ejemplo perfecto de iteraciones Agile.

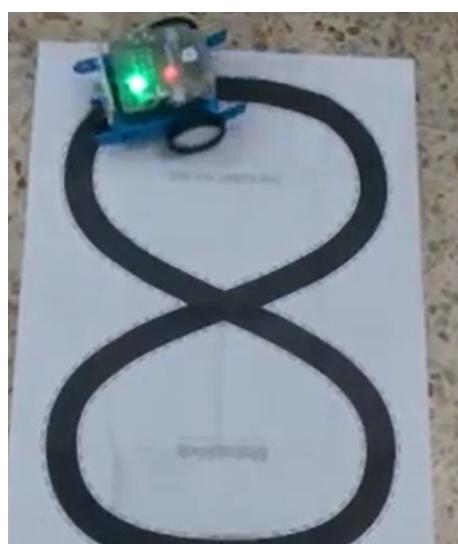


Figura 5.3: Ejercicio de Sigue Líneas

Ejercicio extra. Esta vez no aumentaremos la dificultad ni cambiaremos o ampliaremos las especificaciones del problema, sino que sólo lo pondremos a prueba con diferentes circuitos hechos por los alumnos, cada vez más difíciles o con más curvas, con el fin de demostrar que con una única solución tenemos cubiertos todos los escenarios en todas las situaciones que planteemos.

Además, sirve para jugar con el programa que los alumnos han desarrollado, haciéndoles ver que sirve para algo más que sólo 'hacerlo'; es importante inculcarles la idea de que programar es divertido y de que ver los resultados es gratificante.

Choca-gira Usaremos el mismo sensor de ultrasonido que en el ejercicio del muro (5.3.1.2) pero complicando el requerimiento principal. Esta vez, en lugar de sólo tener que parar para no chocar, el robot intentará evitar el obstáculo para huir de él.

El ejercicio básico consistirá en perseguir al robot, poniéndole delante algo con que, de no esquivarlo, chocaría. Para esquivarlo, no sólo tendrá que parar si 'lee' un obstáculo delante sino que, deberá girar o dar marcha atrás o las dos cosas: serán los alumnos los que diseñen su propio algoritmo de **esquivado**; no hay una solución única y deberán demostrar su capacidad de decisión delante de una solución abierta.

Ejercicio extra. Con el mismo sensor y la misma filosofía que anteriormente, esta vez diseñaremos un algoritmo para **atravesar** los obstáculos y poder continuar la carrera, no para evitarlos y huir de ellos.

El propósito es reforzar la autonomía de los alumnos a la hora de buscar una solución, no sólo de implementar un algoritmo (una solución) dado. La diferencia con la carrera de obstáculos del primer apartado de este mismo capítulo, en 5.3.1.1, es que la disposición de estos obstáculos no será fija, sino que el robot deberá ser capaz de solucionar cualquier circuito.

5.3.1.3. Comportamientos

En las dos secciones previas se ha explicado cómo utilizar los sensores y actuadores propios del mBot con el lenguaje de programación Scratch, y se han propuesto ejercicios para practicar todos ellos. Sin embargo, y aunque siempre se ha intentado hacer estos ejercicios lo más reales posibles, a la hora de ponerlo en práctica podemos ver que los alumnos los superan fácilmente y que, en cuanto tienen resuelto el algoritmo, piden opciones que hacerle o le buscan formas distintas con las que poder jugar con el robot.

Con ese propósito, para la última parte del curso de Scratch, y ya teniendo en cuenta las herramientas de programación trabajadas hasta ahora, en esta sección propondremos algunos ejercicios más completos y que requerirán de varios sensores y actuadores conjuntos, con comportamientos más complejos y con un propósito más específico. Seguiremos trabajando la programación, reforzando los conceptos de *funciones*, *variables*, *orden secuencial*, *ejecuciones bloqueantes*, *bucles anidados a condiciones*, etc.

Otro propósito de esta sección es el aprendizaje y autonomía de los alumnos a la hora de solucionar un problema. Es decir, no ya de dar la solución programada a un algoritmo, sino de diseñar ellos mismos ese algoritmo que compone la solución. A base de intentos, y distintas iteraciones, el refinamiento de la solución será un punto importante. Seguiremos la idea de la metodología **Agile**: diseño, desarrollo, prueba, rediseño. A pesar de haber seguido este método durante todo el curso, ahora es cuando mejor se puede poner en práctica debido a la naturaleza más continua de los ejercicios (no durarán sólo un día o una iteración).

Lucha de Sumo Con este primer proyecto se pretende demostrar a los alumnos que son perfectamente capaces de programar comportamientos que pueden usarse de forma completa y única, sin ser necesariamente sólo una pequeña parte de un comportamiento más completo. Es decir, en el caso de las luces automáticas (5.3.1.2) o del sistema de detección de muros (5.3.1.2), los programas formaban parte de un comportamiento completo al que podríamos referirnos como 'comportamiento robótico de un coche'; no tenían una aplicación directa por ellos solos. Sin embargo, en este ejercicio que nos ocupa, el comportamiento se programará desde el principio y al completo, con el fin de que los alumnos puedan ver y jugar con un programa hecho por ellos de forma íntegra.

El objetivo del juego es simular un combate de sumo en el que los robot serían los luchadores. Se juega dentro de un ring, si un robot se sale, pierde; un robot, para ganar, deberá sacar al otro del ring.

Para perseguir al otro "luchador", utilizaremos el lector de distancia. Si no tenemos nada a x distancia, haremos girar al robot y avanzar un poco, así hasta que (y el bloque de control es este 'hasta que') tengamos un obstáculo a menos de esa distancia x , momento en el cual pararemos de girar e iremos en la dirección en la que está el obstáculo (el otro robot). Como el objetivo es sacar al otro robot del ring, pero no salir de él, si captáramos con el sensor de Sigue Líneas que una o las dos líneas están tapadas (en negro), mandaremos al robot parar. Si las dos líneas estuvieran en negro, y hubiera un obstáculo (un robot) muy cerca, significaría que hemos ganado. Si no, que tenemos que seguir buscando al contrincante.

Como se puede observar, en este ejercicio se tendrán que mantener muchos sensores y posibles variaciones a la vez, por lo que los alumnos deberán tener muy en cuenta todas las variantes y la posibilidad de que una combinación niegue a la otra. Por ejemplo, que el robot no se salga del campo es prioritario, así que esa condición deberán considerarla la primera, antes de considerar si tienen delante el otro robot. Es decir, esa condición es bloqueante para considerar el resto.

Como todas esas condiciones serán bloques de condición anidados, el código enseñada se haría ilegible, por lo que ahora más que nunca, es imprescindible utilizar funciones. Cada función será un comportamiento predefinido y que siempre será igual. Estas funciones serían las siguientes:

- No salirse del campo. El robot siempre hará lo mismo cuando se encuentre una de las líneas que delimitan el campo. Tendrá las dos opciones, que tenga un obstáculo delante, o que no. Con cada una de estas opciones, tendrá un comportamiento.
- Correr hacia la pelota. En cuanto el robot detecte, a una distancia predefinida, que el contrincante está delante suya, correrá más rápido, y siempre a la misma velocidad.

Además, todos esos valores **constantes**, como las distintas velocidades o la distancia a la que considerar que la pelota está cerca, siempre serán *variables globales*, en vez de valores numéricos embebidos en el código.

Laberinto Siguiendo la misma línea e 'proyecto', y de integración de conocimientos, esta vez proponemos el diseño de resolución autónoma de un laberinto.

Lo primero que debemos comentar es el algoritmo de resolución del laberinto, teórico, que implementaremos en código. Dado que la intención es la "robotización" del proceso, haciéndolo independiente de la acción humana, nos basaremos en una de las formas

clásicas de resolución de laberintos: siempre seguir la pared que se tenga a la derecha (o a la izquierda, pero siempre el mismo lado). Es decir, para salir de un laberinto, deberemos seguir desde la entrada del mismo, la pared que tengamos a la derecha; en caso de encontrar un giro (una esquina) deberemos seguirla también. Este método se conoce como 'método de la mano derecha' y sirve para la mayoría de laberintos. En la siguiente imagen se observa con claridad:

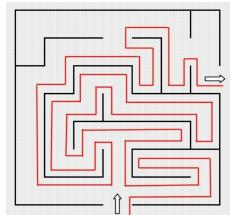


Figura 5.4: Método de la mano derecha

Este método no asegura el camino más corto sino la certeza de la resolución. De hecho, en la imagen puede observarse que si hubiéramos utilizado el método de la mano *izquierda*, el camino habría sido más corto. Sin embargo, como el objetivo es utilizar un sólo método para todos los posibles laberintos, escogeremos uno e implementaremos todos los alumnos el mismo.

Lo primero sería la preparación, del robot y del entorno. Como necesitaremos que el robot vea paredes a los lados, y no solo de frente, utilizaremos el sensor Sigue Líneas como 'lector de paredes'; adaptaremos al robot cambiando de lugar este sensor:



Figura 5.5: Preparación del mBot

Esta necesidad de 'cambiar' al robot serán los propios estudiantes quiénes la verán, durante el proceso de toma de requerimientos, y después de haber conocido el algoritmo de la mano derecha. Para este proceso de preparación, será necesario haber montado un laberinto de pruebas, por ejemplo de porexpan (cualquier laberinto simple, el de la imagen por ejemplo). Verán la necesidad de conocer si hay una pared al lado o no, y si hay otra enfrente o no, cuando físicamente vean el robot dentro del laberinto e intenten resolver el algoritmo.

Siguiendo el mismo procedimiento Agile que durante el curso, programaremos el comportamiento en etapas unitarias, en modo *bottom-up*, y con su fase de test entre cada una (varias fases de test, de recalibración de velocidades, de perfeccionamiento, etc):

1. Idea principal del algoritmo: seguir la pared de la derecha. Para ello utilizaremos el sensor infrarrojo Sigue Líneas de forma que, si están los dos sensores tapados (negro) hay pared y debemos seguir avanzando; si están los dos sensores destapados (blanco) hemos pasado una esquina "a derechas" (sin tener pared delante) y tenemos que girar a la derecha **hasta que** los dos sensores vuelvan a estar tapados.
2. Esta condición anterior es así **mientras que** el sensor de distancia delantero no tenga una pared a x distancia. Si están los dos sensores infrarrojos tapados, pero tenemos una pared delante, significará que tenemos una esquina "a izquierdas" y deberemos girar hacia la izquierda **hasta que** no haya pared delante.

El trabajo más importante para el estudiante será el diseño de 'estados' del robot; qué estados son bloqueantes (van antes en el código) y el orden en que analizar todas las variables disponibles.

Aparcamiento Autónomo Este ejercicio, muy interesante para los alumnos y alumnas por ser especialmente real", es posible con la misma configuración de sensores que la del laberinto. El propósito es programar el comportamiento de un sistema de aparcamiento de un vehículo moderno, que cuando encuentra un hueco suficientemente grande, aparca de forma autónoma. Las distintas fases de diseño, serían las siguientes:

1. El primer problema que atajar es qué significará para el robot un sitio "suficientemente grande". La premisa del entorno será una 'pared' creada con porexpan, o algo equivalente, que en un momento determinado 'desaparece'. Por tanto, utilizaremos el sensor lateral de forma parecida al ejercicio anterior: mientras que los dos sensores estén en negro, tendremos que seguir avanzando.
2. Cuando los dos sensores laterales estén en blanco, significará que hemos encontrado un *posible* hueco. Si es suficiente o no, como el robot no tiene capacidad de calcular su propio tamaño, vendrá determinado por cuánto tiempo avancemos (iniciando una variable tiempo a 0) **hasta que** los dos sensores vuelvan a estar tapados. El tiempo que tarde en encontrar un hueco suficientemente grande lo calcularemos una vez, y lo utilizaremos como valor referencia en el programa principal: si es mayor que T , será suficiente, si no, hay que seguir buscando.
3. Tras encontrar un hueco, el robot deberá parar y dar marcha atrás (girando ligeramente) **hasta que** el sensor delantero tenga un valor de referencia, lo que significará que tiene un 'coche' delante.
4. Este proceso puede perfeccionarse todo lo que los estudiantes quieran, para mejorar el aparcamiento y que sea más preciso.

Una variación interesante de este ejercicio, una vez que los estudiantes hayan programado el algoritmo, es cambiar la disposición de los sensores: poner en el lateral el sensor de distancia de ultrasonidos, y delante el infrarrojo. El procedimiento es el mismo, pero deberán ajustar los valores, re-calcular las constantes de referencia y re-diseñar los detalles de implementación. Lo más importante es que aprenden que las soluciones a un mismo problema no son únicas.



Figura 5.6: Ejercicio de aparcamiento autónomo

Otra posible variación, útil en caso de que haya alumnos que trabajen a diferentes velocidades (algo muy habitual) es añadirle la funcionalidad trabajada en otros ejercicios, por ejemplo que emitiera sonido con la marcha atrás (5.3.1.1).

5.4. Segunda etapa: PyBo-Kids-2.0 en Python

Esta segunda parte del curso educativo está supeditada a que los alumnos hayan tenido una buena acogida de los contenidos de la primera etapa, tanto educativa como temporalmente. Es importante que hayan aprendido globalmente conceptos de programación para poder introducir el concepto de 'código', con todas las normas que ello conlleva. Scratch para ello es una ventaja frente a otros lenguajes "infantiles", pues es una suerte de *pseudocódigo*, frente a otros que no contienen nada de texto y son completamente pictográficos (orientados a alumnos aún más jóvenes, que no han empezado o terminado de aprender a leer).

Se han diseñado pues, una serie de ejercicios de dificultad progresiva, para introducir a los estudiantes en la programación clásica y dar un paso más en su aprendizaje en robótica, utilizando la plataforma diseñada en este Trabajo Fin de Grado PyBo-Kids-2.0.

5.4.1. Introducción a Python

Como sería la primera vez que utilizan un lenguaje de programación clásico, es necesario introducirlos en las normas, en la sintaxis básica y en la forma de ejecución. Para ellos hemos preparado unos ejercicios simples sólo de lenguaje, a los que dedicar poco tiempo (pues no son de robótica de por sí), a modo de introducción.

Hola mundo Como en cualquier curso introductorio de lenguaje, el primer 'Hola mundo' es fundamental para enseñar a los alumnos a abrir un fichero nuevo, guardarlo, y ejecutarlo (en este caso, usaremos el IDLE nativo de python en Windows, al igual que su shell. Es por tanto, muy fácil ejecutar un programa guardado con la opción propia del IDLE).

```

IDLE Shell 3.10.2
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.10.2 (tags/v3.10.2:a58ebcc, Jan 17 2022, 12:10:15) [MSC v.1932 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information
>>> ===== RESTART: C:/Users/eva.garcia.domingo/OneDrive - Avanade/Desktop/hola.py =====
print ("Hola Mundo")
Hola Mundo
>>> ===== RESTART: C:/Users/eva.garcia.domingo/OneDrive - Avanade/Desktop/hola.py =====
print ("Hola Mundo")
Hola Mundo
>>>

```

Figura 5.7: Hola Mundo en Python

Calculadora Para aprender cómo usar variables en Python, y como acceder a ellas, haremos algo tan simple como útil: guardar dos valores diferentes en dos variables, *a* y *b*, e imprimir por pantalla la suma, resta, multiplicación y división de ellas.

Calculadora II El mismo ejercicio anterior, pero pidiendo los valores de *a,b* por teclado.

Cumpleaños feliz El objetivo de este ejercicio es que aprendan que hay diferentes tipos de objeto (no es el mismo tipo de objeto los número de la calculadora, que un string de texto) que se pueden almacenar en una variable, y que aprendan a usar un bucle *for..i in range()*, con el objetivo de no tener que repetir varias líneas de código cada vez que la canción repite el mismo texto. Además, el número de veces que vayamos a repetir la canción, será un valor pedido por teclado.

Suma progresiva Para trabajar los bucles *while*, haremos una suma aritmética utilizando un valor que iremos incrementando en cada pasada del bucle (*i*). Primero haremos 5 iteraciones, después 10, etc, para que los alumnos vean como cambiar fácilmente el código par obtener el resultado deseado. También será importante que aprendan la diferencia entre *menor que* e *menor o igual que*, ya que el bucle hará una interacción más o menos.

```

i = 0
while i < 6:
    print(i+1)
    i += 1

```

Calculadora III Para utilizar los condicionales, haremos una pregunta tan simple como *¿y si intentamos dividir por cero?* que tendrán que resolver. Además, al tratar de dividir por cero, comprobarán cómo son los errores en Python (los errores son algo que deben aprender a leer y manejar).

```

Traceback (most recent call last):
  File "C:/Users/eva.garcia.domingo/OneDrive - Avanade/Desktop/calc.py", line 3,
    in <module>
      print(a/b)
ZeroDivisionError: division by zero
>>>

```

Figura 5.8: Error en Python

Habiendo utilizado variables, bucles y condiciones, se puede empezar a programar el mBot de forma progresiva, pues el objetivo es que re-aprendan todos estos conceptos con una programación formal.

5.4.2. Prácticas

Como se mencionó brevemente en el final del Capítulo 4, para esta etapa del curso educativo, se ha preparado un esqueleto de programación en Python, con el objetivo tanto de facilitar la programación a los estudiantes, como de guiarles en unas buenas prácticas (entre ellas, la obligatoriedad de la indentación propia de Python). Este esqueleto contiene la importación del módulo de la biblioteca, y una guía de dónde corresponde cada parte del programa. Lo utilizaremos, al menos las primeras veces, para hacer los ejercicios diseñados. Más adelante, y dependiendo del ejercicio, harán cambios en él, es sólo una guía para empezar. Además, en la biblioteca, tenemos una ayuda programada para mostrarle al alumno las posibles funciones que tiene disponibles (la función, al no ser una ayuda de Python "al uso", se llama *functions_mbot* y está pre-programada en el esqueleto):

```
# -- Esto es un comentario

# -- Aqui los modulos necesarios
import sys
import serial
from time import sleep
from Library_Mbot_v1 import *

#-- Poner aqui las variables globales, si se necesitan

#-- Sacar mensaje inicial: que va a hacer el robot

try:
    #--Escribe aqui el programa principal
    functions_mbot()
except KeyboardInterrupt:
    send_Quit(serial)

sys.exit(0)
```

```
Tienes las siguientes funciones para el mBot:
read_Sensor(serial) => lee de los sensores y te devuelve qué sensor es y el valor de éste
turnOn_Leds(list,serial) => enciende las luces led
turnOn_Buzzer(list,serial) => enciende el zumbador
turnOn_Motors(list,serial) => enciende los motores
send_Quit (serial) => manda un mensaje de apagado al mBot
show_BuzzerNotes() => muestra todas las posibles notas para el zumbador
ask_message_Led(serial) => pide los valores para mandar a los led
ask_message_Buzzer(serial) => pide los valores para mandar al zumbador
ask_message_Motors(serial) => pide los valores para mandar a los motores
```

Figura 5.9: Ayuda sobre el mBot

A continuación explicaremos los ejercicios programados para esta parte del curso. Muchos de ellos, al ser los mismos que en Scratch (5.3) no los repetiremos a no ser que sean necesarias aclaraciones o ayudas debido al cambio de plataforma.

Conexión con el robot Aunque no vaya a hacer ningún efecto, lo primero que deben aprender es la forma de conectarse al robot. Se les explicará haciendo referencia a la conexión en Scratch, que también era necesaria, y se les mostrará cómo usar la función preparada para ello

```
open\portSerial(port)
```

Este primer "programa" no ejecutará nada, sino que la forma de ver que ha funcionado correctamente es comprobar que no genera fallo. Si cambiáramos el puerto en la función, podríamos comprobar que no funciona.

Luces Led Al ser el actuador más sencillo, será el primero que utilicemos. Lo primero es la toma de decisiones (qué queremos que el robot haga), después debemos pasar esos datos a lenguaje, y después utilizar la biblioteca del mBot. Es importante explicarles cómo funcionan las funciones de envío de datos. En este caso, cómo hacer un array (una lista) con los datos que queremos empaquetar para enviar al robot.

```
serial = openPortSerial('com3')
turnOnLeds([0,255,0,0], serial)
```

Carreras Realizaremos el mismo ejercicio que en la parte anterior, esta vez enviando los datos a los motores con la biblioteca de PyBo-Kids-2.0. La toma de decisiones pasará por decidir la velocidad a la que mandar los motores moverse, y por crear el objeto de lista con los valores que enviar. Es notable que este ejercicio debemos realizarle con cuidado, ya que continuamos teniendo el robot conectado por cable al PC.

SOS Esta vez, para hacer el mismo ejercicio de SOS que anteriormente, elegiremos la nota a la que emitir y las dos duraciones diferentes por teclado. La propuesta es que se repita el SOS tres veces (o n veces) y después termine, usando el mensaje *quit* programado.

Sensores Para aprender a usar la forma de leer de los sensores de PyBo-Kids-2.0, les propondremos leer del sensor, comprueben que es el que necesitan (con un bloque *if..else*) e impriman el valor del sensor por pantalla. Además, así aprenden a acceder a un Array, no sólo a crearlo.

Haremos esto con los tres sensores, para aprender cómo usarlos y poder pasar a programar los ejercicios mezclando sensores y actuadores. Lo más importante, obviamente aparte de aprender a usar la plataforma, es que vean la necesidad de un bucle para mantener leyendo del sensor al robot, ya que el valor puede cambiar en cualquier momento.

Luces rojas si hay un muro delante Una vez comprobados los sensores, el siguiente paso es programar los ejercicios más complicados, que requieren de mayor programación al mezclar la lectura de sensores, el tratamiento de los datos y decisión sobre ellos, y el envío de datos a los actuadores. Aún así, el más sencillo de ellos siguen siendo los led, por lo que empezaremos encendiéndo una luz roja si el valor del sensor de Distancia es menor que un valor threshold guardado como valor global, o pedido por pantalla, y verde en caso contrario (es importante recordar que el sensor recoge un valor máximode 400 cm).

Condicionales Lo más interesante de poder utilizar el PC para la entrada de datos es la diferencia de órdenes que enviar al robot. Así, con el mismo programa podremos utilizar actuadores

diferentes dependiente de lo que escribamos por teclado, utilizando comparadores y bloques condicionales para, por ejemplo, encender un led u otro, el zumbador, o los motores.

Después de estos ejercicios, los alumnos estarán capacitados para hacer el resto de ejercicios posibles de la sección de Scratch (5.3), u otros que se nos ocurran teniendo en cuenta el modelo de entrada de datos que nos proporciona tener el PC (y no tener grabado a fuego el programa en la placa, como sucedía con Scratch). Lo más importante es guiarles en el proceso Agile y tratar que no se salten pasos por falsa confianza, y en la posible ayuda que necesiten sobre el lenguaje y su sintaxis.

Capítulo 6

Conclusiones

A lo largo de este Trabajo Fin de Grado se ha expuesto una propuesta educativa completa, junto con el desarrollo de una plataforma para ejecutarla, debiendo ser esta plataforma de fácil acceso e instalación. Se han explicado los pasos dados para cumplir los objetivos marcados para esta plataforma y su puesta en práctica basada en ejercicios prácticos, con suficiente detalle como para poder reproducirlos sin ayuda.

Realizaremos a continuación un resumen de los objetivos iniciales y cómo se han resuelto.

6.1. Conclusiones

Teníamos dos objetivos principales en este Trabajo Fin de Grado:

1. **Plataforma PyBo-Kids-2.0.** Se ha desarrollado un *middleware* que capacita a alumnos y alumnas a programar el robot mBot en el lenguaje Python, abstrayendo la dificultad de la sintaxis de este lenguaje y del Arduino nativo de la placa base del robot, y permitiendo utilizar una biblioteca de funciones que ocultan la lógica más compleja y deja libertad para el aprendizaje, tanto de robótica como de programación.

Esta plataforma, llamada PyBo-Kids-2.0 por ser una versión de un trabajo anterior de JdeRobot (ver en [3]), cuenta con un programa "residente" que se ejecuta en el robot de forma que el estudiante no deba programar nada en Arduino, y una biblioteca Python que, importándose como un módulo, facilita la programación del robot.

Es posible utilizar PyBo-kids-2.0 en un Sistema Operativo Windows, por ser el más extendido y el más habitual en hogares y centros educativos, y requiriendo solamente la instalación de Python, en caso de que el curso escolar se imparta de forma controlada (en caso de que se quisiera utilizar de forma individual, tan solo requiere de la instalación adicional de Arduino), siendo ésta una ventaja de cara a utilizarla en cursos de robótica educativa.

2. **Propuesta educativa.** Los ejercicios propuestos están diseñados cumpliendo unos objetivos docentes individuales y de forma colectiva, siendo ésta última la iniciación a la robótica y a la programación orientada a Educación Primaria; responden a una experiencia práctica y se ha podido comprobar su efectividad y viabilidad. Para cada ejercicio se ha explicado la metodología y los pasos a seguir para guiar al estudiante en su resolución. Se ha mantenido presente la situación y necesidades educativa de un alumno de edad temprana, y se han adaptado los contenidos a ellos.

6.2. Trabajos futuros

La plataforma diseñada cumple con los objetivos que nos habíamos marcado para este Trabajo Fin de Grado, siendo utilizable en un entorno real. Sin embargo, hay líneas y posibilidades en las que mejorar o ampliarlo. A continuación listaremos posibles líneas de continuación de la plataforma:

- Añadido de sensores y actuadores del mBot: el estado actual de la plataforma contempla el mBot básico, aunque existen más periféricos que añadir, y con los que poder ampliar tanto las bibliotecas como los contenidos educativos. Los siguientes ejemplos son sensores u actuadores que se pueden conectar al mBot: una matriz LED en la que es posible "dibujar", un receptor IR con el que poder usar un mando a distancia con el que dirigir al robot, un sensor de humedad, un sensor de sonido, y más.
- Adaptar el sistema para enviar como parámetro al residente Arduino el puerto en el que conectarlos, haciendo posible arrancar sólo los sensores deseados desde el programa principal. Es decir, iniciar los sensores desde el lado PC. Esta posibilidad mejoraría el rendimiento y velocidad del programa, ya que no Arduino no ejecutaría todos los sensores a la vez.
- Adaptar el sistema de mensajes para hacer posible conectar dos sensores del mismo tipo. La implementación de esta opción tiene como requerimiento la anterior, ya que se utilizarían dos puertos para los sensores, por lo que se hace necesario inicializar el sensor desde el lado PC.
- Mejorar el rendimiento de las bibliotecas con el uso de hilos de ejecución, con el fin de tener dos hilos diferentes leyendo y escribiendo del canal Serial.
- Añadir la funcionalidad de Bluetooth para que las bibliotecas Python y Arduino reconozcan el [adaptador de bluetooth de Makeblock](#), que crea un puerto serie una vez emparejado al robot. Esta funcionalidad es posible con Scratch, la cual se ha utilizado en algunas de las prácticas, de forma nativa. Esto ampliará el número de ejercicios posibles a realizar, ya que no tendremos la limitación física de un cable conectado al PC.

Cada cambio o ampliación requerirá de cambios en las dos bibliotecas, para que la funcionalidad de cara al estudiante no cambie:

- En caso de añadir un actuador o un sensor: añadir los métodos de lectura y parseo del mensaje o de composición y escritura del mensaje en el lado Residente, con su correspondiente identificador numérico; añadir igualmente los métodos de lectura o de escritura en el lado PC.
- En caso de cambios en la forma de leer los periféricos, o de hilos de ejecución o cambios en el protocolo de mensajes, los cambios oportunos deben realizarse en las dos bibliotecas.
- Añadido, o cambio, de las funciones "visibles" en el lado PC, que serán las que puedan ser utilizadas por los alumnos y alumnas para programar el robot.
- Añadido de las posibles nuevas funciones en la ayuda visible de la biblioteca PC.

- Compilar y subir el nuevo programa residente al robot, para poder ser utilizado de forma independiente con el programa Python.
- Comprobación de que el sistema Residente-PC funciona, con el nuevo Residente y los cambios realizados.
- Actualizar la biblioteca mBot.py en el repositorio donde se esté trabajando con los estudiantes.

Bibliografía

- [1] ARDUINO. Oficial arduino website.
- [2] ARDUINO. Referencia lenguaje arduino.
- [3] JULIO VEGA, J. M. C. Pybo-kids.
- [4] MAKEBLOCK. Oficial makeblock website.
- [5] ORG, P. Oficial python reference.