

EXPLORANDO LA ROBÓTICA

Guía para First Lego League y World
Robot Olympiad

Javier & Josu Arambarri Calvo

2024

EXPLORANDO LA ROBÓTICA Guía para First Lego League y World Robot Olympiad es la tercera versión, **edición Lego Spike Prime**, de la obra *Algoritmos de Programación Avanzada para First Lego League y World Robot Olympiad*.

Primera versión: escrita durante los meses de verano (junio-agosto) del año 2021, publicada por primera vez en febrero de 2022 en formato PDF.

Segunda versión: publicada el 21 de marzo de 2023 en Amazon:

<https://www.amazon.es/dp/B0BYRK51T4>.

Tercera versión: publicada el 7 de octubre de 2024.

Diseño original de portada: Estrella Gracia Monforte.

Instagram: @estrelladgracia.

Sólo a base de trabajar duro puede descubrirse algo.

—Richard Feynman

Hazlo lo mejor que puedas hasta que sepas más. Cuando sepas más, hazlo mejor.

—Maya Angelou

Índice de capítulos

1	Bienvenida y acerca de la obra	11
2	Sobre nosotros	13
3	Nuestras redes sociales	15
4	Agradecimientos	16
5	First Lego League	17
5.1	¿Qué es?	17
5.2	¿Cómo participar?	18
5.3	Función de los entrenadores y entrenadoras	18
5.4	Temporada First Lego League	19
5.5	Proyecto de Innovación	20
5.5.1	Ejemplo real de memoria del Proyecto de Innovación	21
5.6	Proyecto Técnico o robot	50
5.7	Valores	51
5.8	¿Cómo hacer una buena presentación?	51
5.9	Ejemplos de presentaciones	53
5.10	Ejemplos de guiones para las presentaciones	72
5.11	Dinámicas de trabajo en equipo	77
6	World Robot Olympiad	79
6.1	¿Qué es?	79
6.2	¿Cómo participar?	80
6.3	Temporada World Robot Olympiad	80
6.4	Torneos WRO	80
6.5	Función de los entrenadores y entrenadoras	81
7	Construye tu robot	82
7.1	Tipos de robot	82
7.2	Pines de conexión	87
7.3	Sensores: usos alternativos y posicionamiento	89
7.4	Ruedas	91
7.5	Accesorios y mecanismos	94
7.5.1	Motorizados	94

7.5.2	Pasivos	101
7.6	Diseños descargables	103
8	Bloques, subprogramas o funciones	104
8.1	Funciones en el software Lego Spike Prime	106
8.2	Funciones en Python	108
8.3	Python y Lego Spike	109
9	Bloques y algoritmos	113
9.1	Calibración y reinicio de sensores	113
9.1.1	Sensor de GIRO	113
9.1.2	Sensor de COLOR	114
9.2	PID	115
9.2.1	Acción proporcional	115
9.2.2	Acción integral	116
9.2.3	Acción diferencial	116
9.2.4	Método Ziegler-Nichols	118
9.2.5	Ensayo y error	119
9.2.6	Pseudocódigo	120
9.2.7	Más sobre PID	120
9.3	Movimiento	121
9.3.1	Corrección de DESVIACIONES con SENSOR de GIRO	121
9.3.2	Corrección de desviaciones PID con SENSOR de GIRO	125
9.3.3	Aceleración y desaceleración TEMPORAL	130
9.3.4	Aceleración y desaceleración TANGENCIAL	134
9.3.5	Aceleración y desaceleración SINUSOIDAL	140
9.3.6	Aceleración y desaceleración EC. LINEAL RECTA	146
9.3.7	Freno eléctrico	155
9.4	Giros	156
9.4.1	Con CÁLCULO MATEMÁTICO sin sensor de giro	156
9.4.2	Con aceleración y desaceleración PROPORCIONAL	160
9.4.3	Con aceleración y desaceleración SINUSOIDAL	163
9.4.4	Con aceleración y desaceleración EC. LINEAL RECTA	165
9.4.5	Corrección de imprecisiones	168
9.4.6	Smart (inteligente)	169
9.5	Line Squaring	175
9.5.1	Única referenciación	175
9.5.2	Doble referenciación	179
9.6	Seguidores de línea	184
9.6.1	Seguidor PROPORCIONAL	184
9.6.2	Seguidor PID	188
9.6.3	Seguidor PID con 2 SENSORES	193

Índice de capítulos

9.6.4	Seguidor PID adaptado a CHASIS MOTOR MEDIANO	194
9.7	Controladores de menú	195
9.7.1	Cambios con sensor de contacto	195
9.7.2	Selector por COLORES	197
10	Ejercicios propuestos de programación	199
11	Derechos de autor	201

Índice de figuras

1.1	QR a GitHub.	12
4.1	Construcciones y Demoliciones, FLL Euskadi 2020.	16
6.1	Logo de JarriBot.	81
7.1	Robot de caja.	83
7.2	Robot de núcleo.	85
7.3	Coches para robot de núcleo.	86
7.4	Tipos de agujeros en piezas Lego.	87
7.5	Tipos de pines Lego.	88
7.6	Encapsulamiento de sensores.	89
7.7	Sensor de color, fuerza y ultrasónico.	90
7.8	Rueda encapsulada.	92
7.9	Ruedas auxiliares de acero.	92
7.10	Rueda sin neumático encapsulada.	93
7.11	Ruedas auxiliares pequeñas.	93
7.12	Tipos de engranajes.	95
7.13	Reducción de engranajes.	96
7.14	Engranajes de alta resistencia.	96
7.15	Engranajes de cambio de dirección.	97
7.16	Engranajes de hélices.	98
7.17	Tornillo sinfín.	98
7.18	Cremalleras.	99
7.19	Piñón cremallera.	99
7.20	Ejemplo de un mal encapsulamiento.	100
7.21	Ejemplo de un buen encapsulamiento.	100
7.22	Mecanismo pasivo con gomas.	101
7.23	Mecanismo pasivo para tirar objetos.	102
7.24	Mecanismo pasivo para recoger objetos.	103
8.1	Creación de <i>Mi Bloque</i>	106
8.2	Ejemplo de bloque.	107
8.3	Definición y llamada al bloque.	107
8.4	Tipos de ángulos.	110

8.5	Ángulos de guiñada.	110
9.1	Reseteo del sensor de giro.	114
9.2	Sistema PID, ilustración de la web de PICUINO.	115
9.3	Ilustración del control Proporcional.	116
9.4	Ilustración del control Integral, extraída de Wikipedia.	117
9.5	Ilustración del control Diferencial, extraída de Wikipedia.	117
9.6	Ilustración de la corrección PID, extraída de la web de la UNED.	118
9.7	Corrección de desviaciones con sensor de giro.	123
9.8	Corrección de desviaciones PID con sensor de giro.	127
9.9	Aceleración y desaceleración temporal.	132
9.10	Aceleración tangencial gráficamente, extraído de FISCALAB y UPM.	134
9.11	Programa.	138
9.12	Representación gráfica de la función $\cos(x)$ y $\cos(x + \frac{3\pi}{2})$	140
9.13	Representación gráfica de la función $\sin(x)$	141
9.14	Punto de velocidad máxima en función seno.	142
9.15	Aceleración y desaceleración sinusoidal.	144
9.16	Representación gráfica de la aceleración y desaceleración de la ecuación lineal de la recta.	146
9.17	Recta de pendiente positiva: aceleración	147
9.18	Programa: etapa de aceleración.	148
9.19	Programa: etapa de velocidad máxima.	149
9.20	Recta de pendiente negativa: desaceleración	150
9.21	Programa: etapa de desaceleración.	151
9.22	Freno eléctrico.	155
9.23	Giro con cálculo matemático sin sensor de giro.	158
9.24	Giro con aceleración proporcional.	161
9.25	<i>Pista en bloques de palabra.</i>	162
9.26	Giro con aceleración sinusoidal.	163
9.27	Giro con aceleración de la ecuación lineal de la recta.	167
9.28	Trayectoria del giro "Smart".	169
9.29	Orientación del giro "Smart".	169
9.30	Giro inteligente (smart).	172
9.31	Giro inteligente (smart), otra forma de programarlo.	173
9.32	Ilustración gráfica de alineación con una línea.	175
9.33	Única referenciación con líneas negras y sensores de color.	177
9.34	Ilustración gráfica de alineación con una línea.	179
9.35	Doble referenciación con líneas negras y sensores de color.	181
9.36	Doble referenciación con líneas negras y sensores de color.	182
9.37	Doble referenciación con líneas negras y sensores de color y freno eléctrico.	183

Índice de figuras

9.38	Sensor y línea.	184
9.39	Conectar Hub y lectura de valores en pantalla.	184
9.40	Seguir una línea por la izquierda o por la derecha.	185
9.41	Seguidor de líneas proporcional.	186
9.42	Seguidor de líneas PID.	189
9.43	Seguidor PID hasta detectar intersección.	191
9.44	Anidar seguidores PID para evitar intersecciones.	192
9.45	Seguidor de línea con dos sensores.	193
9.46	Cambio para seguir una línea con dos sensores.	193
9.47	Cambio chasis motor mediano.	194
9.48	Cambios con sensor de contacto.	195
9.49	Selector por colores.	197
11.1	Derechos de autor.	201

Índice de cuadros

2.1	Nuestro palmarés en FLL y WRO	14
2.2	Nuestro palmarés en el SumoBot Elburgo	15
5.1	Metodología de los seis sombreros.	78
8.1	Velocidad de los motores en Python	111
9.1	Valores PID que hemos utilizado con diferentes robots.	119

1 Bienvenida y acerca de la obra

En primer lugar, ¡muchas gracias por leerme!

Esta obra está dirigida a las personas aficionadas a la robótica y especialmente a las que forman parte de la comunidad Lego Spike Prime, First Lego League y World Robot Olympiad, tanto alumnos y alumnas, docentes y voluntarios y voluntarias.

El objetivo es inspirar y enseñar el potencial de estas herramientas educativas para aplicar las matemáticas y competencias tecnológicas y llevarlas a la práctica, fomentar las competencias transversales STEAM y documentar todo el trabajo que hemos realizado durante más de cinco años.

El contenido del libro incluye consejos para realizar presentaciones y construir un robot y diferentes algoritmos avanzados muy útiles para World Robot Olympiad y First Lego League.

En los capítulos **cinco** y **seis** se explican tanto la First Lego League como la World Robot Olympiad y se incluyen ejemplos para crear una buena presentación.

En el capítulo **siete** se presentan conceptos muy útiles e importantes para conseguir que el robot sea una estructura sólida y bien ensamblada.

En el capítulo **ocho** se hace una introducción sobre cómo creamos nuestros propios bloques, subprogramas o funciones, tanto en el software de Lego Spike Prime como en el lenguaje de programación Python.

En el capítulo **nueve** se enseñan numerosos algoritmos para programar el robot con mayor precisión.

Por último, en el capítulo **diez** se propone una relación de ejercicios para poner en práctica los algoritmos explicados.

A pesar de que se incluyen imágenes de los bloques de programación en el software de Spike y el código Python, sirvan estos como guía, junto con la explicación del algoritmo, y no como una herramienta literal a la hora de desarrollar los programas. Muestra de ello son las velocidades o distancias negativas, que debido al diseño del robot con que fueron probados los algoritmos, alguno de los motores

estaba invertido, pero dependiendo de cada robot será de una manera o de otra.

Tanto para programar en bloques de palabra como en Python se utiliza el software de Lego Spike Prime, al que se puede acceder desde aquí:

<https://spike.legoeducation.com/>

Este libro no es un tutorial sobre cómo programar Lego Spike en Python o qué métodos utilizar. Para ello, está disponible una amplia documentación accesible desde el propio software o en el siguiente enlace:

<https://spike.legoeducation.com/prime/help/lhs-help-python>

Del mismo modo, la especificaciones técnicas de los componentes de Lego Spike pueden encontrarse en el siguiente enlace:

<https://education.lego.com/en-us/product-resources/spike-prime/downloads/technical-specifications/>

Se incluye un código QR al repositorio oficial del libro en GitHub donde se pueden descargar los diseños de robots y programas. El repositorio está activo a fecha de la publicación del libro.



Figura 1.1: QR a *GitHub*.

Enlace del código QR: https://github.com/arambarricalvoj/apafllwro_repo

Se considera un uso indebido de los contenidos de esta obra el plagio de los mismos sin entenderlos, desarrollarlos ni experimentarlos, con el fin de lograr mejores resultados tanto en First Lego League como en World Robot Olympiad. No obstante, el uso del libro queda sujeto a la responsabilidad individual de cada lector.

Además, se recuerda que la copia de proyectos va en contra de los objetivos de ambos proyectos educativos, estando expresamente prohibida para la World Robot Olympiad, conllevando la sanción oportuna por parte de la organización, entre ellas, la descalificación.

¡Esperamos que lo disfrutes!

2 Sobre nosotros

Participamos por primera vez en First Lego League en la temporada 2015-2016 (Trash Trek), y durante las temporadas 2016-2017 (Animal Allies), 2017-2018 (Hydro Dynamics), 2018-2019 (Into Orbit) y 2019-2020 (City Shaper). Durante estas temporadas, hemos participado con diferentes equipos, así como formando el equipo *Construcciones y Demoliciones (CyD)* para nuestra última participación en la First Lego League.

Todas las temporadas hemos tenido bastante éxito en los torneos, logrando numerosos premios, lo que nos animó a lanzarnos a nuevos retos y participar en World Robot Olympiad. Nuestra primera participación fue en 2018 (categoría Junior, Precision Farming). Más adelante formamos un nuevo equipo, *JarriBot*, para participar en categoría Senior los años 2019 (Smart Networks) y 2020 (Water Raising), proclamándonos este último año campeones absolutos de la World Robot Olympiad España.













Desde 2021, hemos participado en el SumoBot Elburgo, organizado por el Tecnoclub de Elburgo (Álava).

En total, hemos participado en cinco finales nacionales, dos de First Lego League y tres de World Robot Olympiad; y una final internacional de World Robot Olympiad.






Actualmente somos jueces en la First Lego League, tanto a nivel regional como nacional habiendo estado presentes en la finales nacionales de 2023 en Cartagena y 2024 en Alicante, entre otras; árbitro en World Robot Olympiad regional; monitores STEM de robótica y programación educativa; entrenadores de First Lego League en la temporada 2024-2025 y estudiantes de Matemáticas e Ingeniería Informática.

Este ha sido el palmarés logrado:

2 Sobre nosotros

	Emprendimiento	FLL Euskadi	2015-2016 Trash Trek
	Redes Sociales	FLL Euskadi	2016-2017 Animal Allies
	2º Comportamiento del Robot	FLL Euskadi	2017-2018 Hydro Dynamics
	4º Ganador	FLL Euskadi	2017-2018 Hydro Dynamics
	2º Programación	FLL Gran Final Nacional	2017-2018 Hydro Dynamics
	1º Premio - Ganador	WRO Álava	2018 Precision Farming
	1º Comportamiento del Robot	FLL Euskadi	2019 Into Orbit
	1º Diseño del Robot	FLL Euskadi	2019 Into Orbit
	1º Comportamiento del Robot	FLL Euskadi	2019-2020 City Shaper
	2º Ganador	FLL Euskadi	2019-2020 City Shaper
	1º Estrategia e Innovación del Robot	FLL Gran Final Nacional	2019-2020 City Shaper
	1º Premio - Ganador Categoría Senior	WRO Final Nacional	2020 Water Raising

Cuadro 2.1: Nuestro palmarés en FLL y WRO

	3º Premio	SumoBot Elburgo	2022
	1º Premio - Ganador	SumoBot Elburgo	2023
	3º Premio	SumoBot Elburgo	2023
	1º Premio - Ganador	SumoBot Elburgo	2024
	1º Premio Todos contra Todos (TCT)	SumoBot Elburgo	2024

Cuadro 2.2: Nuestro palmarés en el SumoBot Elburgo

3 Nuestras redes sociales

- LinkedIn: Javier Arambarri Calvo, Josu Arambarri Calvo
- Twitter: @ArambarriCalvoJ
- Instagram: @arambarricalvoj, @josu__ac
- Facebook: Javier Arambarri Calvo
- YouTube: CyD-FLL / JARRIBOT-WRO
- Blog: <https://javierarambarricalvo.blogspot.com/>

4 Agradecimientos

Queremos agradecer a todas las personas con las que hemos compartido momentos durante los años de competición, a voluntarios y voluntarias (entre ellas a Aitziber Mugarra, nuestra floater en la FLL Euskadi 2020), a organizadores y organizadoras y a todas aquellas que han participado durante toda nuestra trayectoria.

Queremos agradecer también a nuestra familia, por todos los ánimos y el apoyo recibido, especialmente a Elva, Ramón, Cristina, Elena y Esther, que se animaron a formar parte del equipo *Construcciones y Demoliciones*. A Mari Carmen, Olatz y Alberto por su acompañamiento; a Aintzane, Ander y Arrate; y a nuestra madre y entrenadora por su implicación.



Figura 4.1: *Construcciones y Demoliciones*, FLL Euskadi 2020.

5 First Lego League

5.1. ¿Qué es?

La First Lego League es un **proyecto educativo** que guía a los estudiantes de 4 a 16 años a través del aprendizaje de **vocaciones STEAM** (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas) mediante diferentes retos.

Estos retos se enmarcan en un desafío global que cambia cada temporada. Por ejemplo, la temporada 2017-2018 Hydro Dynamics estaba ambientada en la gestión del agua, la temporada 2018-2019 Into Orbit estaba ambientada en la exploración espacial y retos del futuro y la temporada 2023-2024 Masterpiece estaba ambientado en las aficiones personales y actividades artísticas.

Puede encontrarse más información sobre desafíos pasados en el siguiente enlace:

<https://www.firstlegoleague.org/past-challenges>

Hay tres retos diferentes en función de la edad de los participantes (en función del país las edades pueden variar):

- Discover: de 5 a 6 años.
- Explore: de 6 a 9 años.
- Challenge: de 10 a 16 años.

Este libro se enmarca en el reto *Challenge*, que se compone de tres partes:

- **Proyecto de Innovación**: identificar un problema relacionado con la temática y proponer una solución.
- **Proyecto Técnico o el robot**: utilizando robots de Lego, principalmente Lego Spike Prime y EV3, se debe superar el mayor número de misiones sobre un terreno de juego.
- **Valores First Lego League**: desarrollo, puesta en práctica y demostración del trabajo en equipo, la responsabilidad, el respeto mutuo, la honestidad, la inclusión, el profesionalismo cordial y la cooperación®. Estos valores deberán trabajarse durante todo el desafío.

Los y las participantes trabajan estas tres áreas y finalizan exponiendo su trabajo en un torneo First Lego League. En él **exponen ante un jurado** el trabajo realizado durante meses y conocen al resto de equipos. Los mejores valorados se clasifican a la fase nacional, y así sucesivamente hasta las fases internacionales.

En España, es organizada por la **Asociación Ingeniera Soy** en colaboración con universidades, diputaciones, comercios y demás partners para llevar a cabo los torneos autonómicos y provinciales. Se puede encontrar más información en los siguientes enlaces:

<https://www.firstlegoleague.org/>
<https://firstlegoleague.soy/>

5.2. ¿Cómo participar?

Hay que formar **un equipo de entre 2 y 10 participantes, y al menos un entrenador o entrenadora** e inscribirse en la web oficial de First Lego League del país de participación para recibir el material del desafío. A partir de aquí, la organización irá recordando las fechas de los torneos y preparando sesiones formativas para desarrollar el Proyecto de Innovación y reuniones con los entrenadores y entrenadoras, que deberán guiar al equipo durante la preparación del desafío.

Pueden participar tanto colegios, institutos como grupos de tiempo libre o familiares.

5.3. Función de los entrenadores y entrenadoras

El papel de los entrenadores y las entrenadoras es vital para que la experiencia First Lego League de los participantes sea satisfactoria. **Guían, ayudan y motivan a desarrollar el trabajo durante el proceso de aprendizaje, y en ningún caso lo realizan.**

Un buen entrenador o entrenadora aporta ideas para que el equipo pueda descubrir nuevas habilidades que desconocía, corrige y ayuda para solventar las dificultades, se preocupa por el equipo y recuerda las fechas importantes y los objetivos, y sobre todo, deja hacer, disfruta y celebra los éxitos del equipo.

Recordar que el éxito no significa conseguir premios, sino superar los retos de la First Lego League aplicando sus valores.

5.4. Temporada First Lego League

La temporada comienza en agosto con la publicación del reto, y puede durar hasta julio del siguiente año, fecha en la que se suelen celebrar las últimas finales internacionales. Los equipos comienzan a recibir el material y a trabajar en septiembre para preparar el torneo regional, que suele ser entre los meses de enero y marzo. Después de los torneos locales se celebra la Gran Final Nacional, entre marzo y abril, y a partir de ahí las finales internacionales.

microFLL

La microFLL es un torneo interno y previo al torneo regional que desarrollan los equipos por cuenta propia. En numerosas ocasiones, los colegios participan con un sólo equipo de 10 personas, y para escoger a los y las participantes a nivel regional se celebra la microFLL.

Por ejemplo, si se desea participar con los alumnos y las alumnas de cuarto curso de educación secundaria, pero un único equipo y hay tres clases con veinte estudiantes cada una, en la microFLL participarán 6 equipos, de los que sólo uno participará en el torneo regional.

Otro ejemplo es la mezcla de los equipos, es decir, no hay una normativa determinada para celebrar la microFLL, así que podrían escogerse a los miembros de diferentes equipos para formar el final.

Por otra parte, la microFLL también es útil para realizar un ensayo de cara al torneo regional.

Torneo clasificatorio, regional o local

Es el torneo en el que participan equipos de diferentes centros, y los que obtienen mayor valoración consiguen la clasificación para participar en la Final Nacional. Dependiendo de la sede y del número de equipos, durará todo el día o toda la mañana. Los equipos resuelven las misiones del terreno de juego con el robot ya programado, exponen ante un jurado las tres partes de la First Lego League, y conocen a otros equipos.

En otras palabras, **es la fiesta final de celebración de todo el trabajo realizado durante meses.**

Gran Final Nacional

Es la fase final nacional a la que se clasifican los equipos ganadores de todos los torneos clasificatorios. Se celebra de la misma manera que los torneos clasificatorios, y participan equipos de todo el país. En este caso, los que consiguen mayor valoración obtienen plaza para participar en los torneos internacionales, que son los últimos eventos de la temporada First Lego League.

5.5. Proyecto de Innovación

Los equipos tienen que identificar un problema relacionado con la temática del desafío y proponer una solución. Esa solución no tiene por qué ser tecnológica, sino una solución innovadora. El desafío suele publicarse con una definición corta y sencilla, y **el proyecto de innovación debe ajustarse a esa definición**. Cada año el desafío propuesto presenta ejemplos y problemáticas como punto de partida, aunque los equipos son libres de investigar lo que más les interese.

Una parte muy importante del proyecto de innovación es el **contacto con expertos y expertas**. Los equipos deberán intentar contactar con especialistas en el área de su proyecto para conseguir ideas nuevas, recibir orientación y valorar la viabilidad del proyecto. Una forma de contactar es a través de correo electrónico o redes sociales, explicándoles que sois un equipo de First Lego League y el proyecto en el que estáis trabajando.

Todo este trabajo tiene que ser finalmente resumido en una presentación de 5 minutos, por lo que muchos equipos suelen redactar una memoria del proyecto que entregan al jurado y comparten con los colaboradores y las colaboradoras y con otros equipos. Esta documentación no es obligatoria, aunque hay que tener en cuenta que puede ser muy valiosa a la hora de resolver empates.

¡Cuidado! Toda la documentación que se entregue debe ser útil y estar bien redactada y estructurada, de lo contrario no causará sensación entre el jurado.

En general, el proyecto debe responder a las siguientes preguntas: **¿Qué problema identificamos?, ¿Cómo lo solucionamos? o ¿Qué proponemos?, ¿Cómo hemos conseguido la solución?, ¿Con qué expertos y expertas hemos contactado y en qué nos han ayudado?, ¿Es viable la solución? ¿Qué coste tiene?**

A continuación se presenta como ejemplo real la memoria del equipo CyD de la Temporada 2019-2020, desafío City Shaper.