

Proceso de aprendizaje en la fabricación integrada de una plataforma robótica educativa multidisciplinar

Alejandro Martí Gil^a, Eduardo Quevedo Gutiérrez^b, Pedro Hernández Castellano^c, Alberto Zapatera Llinares^d, Himar Fabelo Gómez^e, Samuel Ortega Sarmiento^f y Gustavo Marrero Callicó^g

^aEscuela de Ingenierías Industriales y Civiles, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, alejandromarti101@alu.ulpgc.es ^bInstituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, equevedo@iuma.ulpgc.es ^cGrupo de Investigación de Fabricación Integrada y Avanzada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pedro.hernandez@ulpgc.es ^dDepartamento de Educación, Universidad CEU Cardenal Herrera, alberto.zapatera@uchceu.es ^eInstituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, hfabelo@iuma.ulpgc.es ^fInstituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, sortega@iuma.ulpgc.es ^gInstituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, gustavo@iuma.ulpgc.es

Abstract

Educational robotics has come to the classrooms and is here to stay. STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) learning has put the use of robots in classrooms in vogue, though these are mostly closed products and at a high price. The educational innovation project “Design, implementation and tests of a modular low-cost educational robotics platform” from the University of Las Palmas de Gran Canaria, expects to design an open, modular and low-cost educational robot to make robotics more accessible. One of the challenges which the project hopes to accomplish is for this robot to be able to adapt to any educational level, thanks to its modularity, from pre-school to university levels. This study analyzes the Industrial Design and Product Development Engineering degree students’ level of acceptance. Therefore, an analysis of the currently most used educational robots at any level has been made, comparing them to the project design. Moreover, a survey was passed to a total 78 students from several degrees to compare the level of acceptance, concluding that students show a general interest in the proposal, but not so among those of the study group, probably due to the lack of robotics knowledge.

Keywords: robotics, education, engineering, modularity, multidisciplinary, integration, design

Resumen

La robótica educativa ha llegado a las aulas para quedarse. El aprendizaje STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) ha puesto en boga el uso de los robots en las clases pero, en su mayoría, son productos cerrados y a un alto precio. El proyecto de innovación educativa «Diseño, implementación y puesta en práctica de una plataforma modular de robótica educativa de bajo coste» de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria pretende diseñar un robot educativo abierto, modular y de bajo coste para hacer más accesible la robótica. Uno de los retos que pretende alcanzar es que dicho robot, gracias a su modularidad, sea capaz de adaptarse a cualquier nivel educativo, desde infantil hasta grados universitarios. Este estudio analiza el nivel de aceptación por parte de los estudiantes del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos, realizando un análisis de los robots educativos más usados en la actualidad en todos los niveles y comparándolos con la propuesta del proyecto. Además, se realizó una encuesta a 78

alumnos de ingeniería, concluyendo que muestran un interés general por la propuesta, pero no tanto entre los del grupo de estudio, probablemente debido a la falta de conocimientos de robótica.

Palabras clave: *robótica, educación, ingeniería, modularidad, multidisciplinariedad, integración, diseño.*

1. Introducción

La robótica y la programación son elementos educativos cada vez más presentes en las aulas de cualquier nivel educativo, dado que fomentan el pensamiento espacial, lógico y creativo a la vez de una forma que pocas dinámicas educativas son capaces de igualar, así como logran aunar numerosas disciplinas en una única actividad (Moreno, 2012).

En el mercado existen numerosos modelos de robots educativos, pero normalmente a precios que los centros públicos no se podrían permitir (Junior et al., 2013)

Arduino y otras plataformas similares acercan la robótica y la programación gracias a su sencillez y bajo coste (UPM, 2017), pero no llegan a ser lo suficientemente atractivos para los más pequeños como podrían serlo los sets de robótica comerciales dirigidos a ellos. Además, no existe un sistema que permita su implantación desde niveles de infantil hasta universitarios.

Trabajos anteriores de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) han demostrado la viabilidad del uso de la fabricación aditiva en combinación de elementos de construcción infantiles para el desarrollo de modelos y prototipos, por lo que se pretende usar esta metodología para hacer de algún modo más atractiva la robótica en las clases, manteniendo un coste mucho menor que con modelos comerciales (Carrasco García, 2014).

Esta propuesta se enmarca en el proyecto de innovación educativa PIE-2020-56 ROBOT-EDULPGC «Diseño, implementación y puesta en práctica de una plataforma modular de robótica educativa de bajo coste», cuyos principales objetivos son el diseño, implementación y puesta en práctica de un prototipo inicial de una plataforma modular de robótica educativa de bajo coste. El proyecto integra varios Trabajos de Fin de Grado de la ULPGC, entre los cuales se incluyen el diseño de la estructura modular, el desarrollo de la electrónica abierta y de bajo coste que estará integrada en el modelo final y los estudios sobre su implantación en las aulas. Desde el punto de vista del diseño del robot, se busca que sea expandible fácilmente con elementos fabricados por impresión 3D o con piezas de construcción infantiles, pudiendo implantarse de esta forma en un amplio abanico de niveles educativos.

2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio consiste en analizar el grado de adecuación y aceptación que tendría incluir la construcción de un robot modular en las asignaturas del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos, ofreciendo una oportunidad a la coordinación vertical y horizontal de todas las asignaturas del Grado, así como de promocionar el aprendizaje basado en proyectos. Para ello, se ha preparado un cuestionario online dirigido a alumnos de ingeniería, obteniéndose 78 respuestas, 20 de las cuales son de alumnos del nombrado Grado (grupo de estudio) mientras que las 58 restantes pertenecen a alumnos de otras titulaciones de ingeniería (grupo de control). Alineados al objetivo principal comentado, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Revisar el estado del arte de la robótica educativa para conocer el enfoque del mercado e identificar carencias y oportunidades.
- Plantear un diseño adecuado de robot que pueda adaptarse a la enseñanza, considerando tanto los aspectos técnicos como los didácticos.
- Identificar las asignaturas del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en las que sería posible intervenir para que la robótica comenzase a formar parte de ella, proponiendo una serie de medidas que ayudasen a integrar el diseño propuesto en estas.
- Establecer las pautas básicas de actuación a la hora de integrar un robot funcional en las aulas en base al diseño propuesto y a los resultados obtenidos en el cuestionario.

3. Desarrollo de la innovación

3.1 Contexto

Actualmente, existen numerosos robots educativos en el mercado; algunos más complejos y otros menos, adaptados a casi todas las edades desde infantil hasta secundaria.

Para los alumnos más jóvenes, los robots suelen ser más cerrados en cuanto a su electrónica y configuración; cumplen con las funciones para las que fueron diseñados sin dar pie a mejoras o expansiones por parte de los alumnos o el profesor. Algunos ejemplos de estos robots son los Next 1.0 y 2.0 (Álamo, Quevedo y Marqués, 2019), de la editorial Edelvives, o el Blue-Bot de la marca TTS (Figura 1). Ambos comparten casi las mismas funcionalidades, como la posibilidad de programar tanto en una aplicación como en una botonera situada sobre el robot. Sus actuaciones son muy limitadas, siendo su funcionalidad principal el movimiento en intervalos preestablecidos (Da Silva y González, 2017).



Fig. 1 De izquierda a derecha: Next 2.0 de Edelvives, Blue-bot de TTS

A medida que los alumnos van creciendo, tienen a su alcance robots más complejos que cuentan con mayores funcionalidades y permiten una mayor libertad, tanto al nivel de programación como al de su configuración. LEGO Education, una rama de productos educativos del grupo LEGO se ha centrado en este tipo de robots, adaptándolos según los rangos de edades y dotándolos de numerosos materiales didácticos que permiten desarrollar las competencias que se quieren lograr con la robótica con bastante facilidad por parte de los alumnos, aunque siempre abiertos a nuevos retos y descubrimientos por parte del alumnado. Desde los dos años, los alumnos pueden ir aprendiendo las funcionalidades más básicas de la programación y, poco a poco, ir pasando por las cuatro líneas de productos educativos en función de su edad, como así explica Robotix (2019), el principal distribuidor de LEGO Education en España. De esta forma, se plantean sets de robótica educativa, ejemplo de los cuales puede ser WeDo 2.0 (Figura 2). Makeblock es otra empresa en el ámbito de la robótica educativa. Su compatibilidad con Arduino y su estructura modular permiten que sus modelos puedan usarse más allá de las funciones que el fabricante recomienda por defecto (Jara Bravo en al., 2018). Su robot más vendido es el mBot (Figura 2).



Fig. 2 De izquierda a derecha: Set LEGO Education WeDo 2.0, mBot de Makeblock

A pesar de todas las ventajas que pueden tener los ejemplos anteriores, sus precios, superiores a los 100 € en casi todos los casos (como se presenta en la *Tabla 1*), los hacen poco accesibles, teniendo en cuenta que generalmente es necesario al menos un robot por cada cuatro alumnos (según los fabricantes consultados) y estando la media española en 22 alumnos por clase de primaria (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2019). Este es un gasto que la mayoría de los centros no puede permitirse, lo que ha motivado la creación de algunos modelos que se caracterizan por su coste mucho menor. Este es el caso de Edison, de la compañía australiana Microbric, presentado en la *Figura 3*, que aúna las funcionalidades más básicas de los robots para edades más tempranas con una buena cantidad de sensores que permiten aprovechar sus funciones al máximo. Además, varios robots pueden interactuar entre ellos como si fuesen uno solo y así, expandiéndolo con piezas tipo LEGO, permite crear modelos únicos casi tan complejos como los comerciales de Makeblock o los primeros niveles de LEGO Education (O'Brien, 2014). Sin embargo, Edison no permite expandir su electrónica, pues está toda situada en una carcasa compacta (Sanz, 2019).



Fig. 3 De izquierda a derecha: Edison robot de Microbric, Escornabot Brivoi Audacious

Por otro lado, hay quienes han preferido basar su planteamiento de bajo coste no en los sistemas compactos, sino en el «hazlo tú mismo», como es el caso de Escornabot. En realidad, es un proyecto de código y hardware abierto que tiene como objetivo hacer más accesible la programación y la robótica. Es un diseño libre cuya estructura se puede descargar e imprimir en una impresora 3D y que dispone de una lista de los componentes electrónicos básicos necesarios para su funcionamiento (Escornabot, 2015). Ese diseño básico es totalmente funcional y puede ser modificado a voluntad por alguien con conocimientos suficientes. Se muestra un ejemplo en la *Figura 3*.

En la *Tabla 1* se comparan varios robots educativos del mercado en función de la edad mínima recomendada, su precio, si incorporan software o no, si cuentan con la posibilidad de ser programados directamente con botones, si cuentan con material didáctico, si requieren de accesorios para poder realizar sus funciones didácticas, si su estructura es modular y puede ser adaptada según las necesidades del usuario, si su electrónica es expandible (ya sea añadiendo nuevos sensores o modificándola en caso de que sea abierta), si es compatible con bloques de construcción (lo que posibilita infinidad de configuraciones nuevas y es aprovechable a cualquier nivel educativo) y, por último, el material con el que se ha fabricado su estructura o carcasa. A parte de los modelos referenciados, se han añadido a esta comparativa: Coding Express, Spike Prime (Robotix, 2019), MINDSTORMS EV3, BOOST (LEGO, 2018), Bee-bot, Pro-bot (TTS, 2018), Thymio (Mobsya, 2011), COJI (WowWee, 2016) y Zowi (Bq, 2015).

Tabla 1. Comparación de características de robots educativos en el mercado

Tabla comparativa de robots educativos											
MARCA	PRODUCTO	EDAD	PRECIO (€)	SOFTWARE	P. P. BOTONES	MATERIAL D.	ACCESORIOS R.	E. MODULAR	ELEC. EXP.	BLOQ. CONSTR.	M. CARCASA
Next Steam Edelvives	Next 1.0	3+	77,44		X		X				P
	Next 2.0	5+	137,94	X	X		X				P
LEGO Education	Coding Express	2+	240,79	X	X	X		X		X	L
	WeDo 2.0	7+	191	X		X		X	X	X	L
	SPIKE Prime	10+	395,67	X		X		X	X	X	L
	MINDSTORMS Education EV3	10+	491	X	X	X		X	X	X	L
LEGO	MINDSTORMS EV3	10+	399,99	X				X	X	X	L
	BOOST -Creative toolbox	7+	159,99	X				X		X	L
	BOOST - Droid Commander	8+	219,99	X				X		X	L
TTS	Blue-bot	3+	119	X	X		X				P
	Bee-bot	3+	85			X	X				P
	PRO-bot	8+	169	N.I.	X		X				P
Makeblock	mBot	8+	89,90	X				N.P.	X		AL
	mBot Ranger	10+	169,90	X				X	X		AL
Microbric	Edison robot	4+	45	X	X	X				X	P
Mobsya	Thymio	6+	120	N.L.	X					X	P
Escornabot	Escornabot	4+	>20	N.L.	X		X		X		3D
WowWee	COJI	4+	59,90	X	X						P
Bq	Zowi	8+	79,90	X							ABS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Abreviaturas usadas en la Tabla 1

Abreviatura	Significado
N.I.	Disponible pero no incluido
N.P.	Posible pero no diseñado para cumplir esa función
N.L.	No se incluye, pero es compatible con varios softwares gratuitos
P	Plástico sin especificar
L	Piezas LEGO (ABS)
AL	Aluminio
3D	Plástico de impresión 3D
SOFTWARE	Software de programación incluido con el producto
P. P. BOTONES	El robot permite ser programado directamente por botones
MATERIAL D.	El robot cuenta con material didáctico
ACCESORIOS R.	Requiere de accesorios que se venden por separado para poder cumplir todas sus funciones
E. MODULAR	Estructura modular
ELEC. EXP.	Se le pueden añadir elementos electrónicos extra fácilmente
BLOQ. CONSTR.	Su carcasa es compatible con bloques de construcción
M. CARCASA	Material de la carcasa



Fig. 4 De izquierda a derecha: LEGO MINDSTORMS Education EV3, mBot Ranger de Makeblock

Como podemos apreciar en la tabla, aunque el Edison y el Escornabot sean los más asequibles, están limitados el primero, por su electrónica cerrada y el siguiente, por los conocimientos de diseño y electrónica del usuario; por lo que en los niveles superiores de educación se siguen prefiriendo modelos como MINDSTORMS EV3 de LEGO (Figura 4). Como queda reflejado en la tabla, es uno de los robots educativos más avanzados y completos del mercado (Ruiz Vicente, 2017), a pesar de que su precio sea prohibitivo para muchos centros.

En niveles universitarios, lo que se busca es la versatilidad de los componentes electrónicos, como podrían aportar Arduino y derivados, teniéndose menos en cuenta la parte estructural. Aun así, los robots más avanzados de Makeblock (Figura 4) son muy utilizados en estos ámbitos debido a la facilidad para modificar su electrónica y la relativa versatilidad de su estructura (Jara Bravo et al., 2018), aunque se requerirían ampliaciones para que el modelo resultase interesante para estos niveles, lo que traería de vuelta el problema de los costes.

Fuera de los ámbitos más comerciales o con mayor repercusión, hay numerosos proyectos de robótica menos extendidos, como pueden ser talleres para alumnos de colegios o institutos con la finalidad de acercar el aprendizaje STEAM a centros con menos medios. Ejemplo de estos son los talleres realizados por PLOCAN en colaboración con la Universidad de Girona, enmarcados en el proyecto EDUROVs (Quevedo et al., 2018). Están dirigidos a alumnos de centros de secundaria, a los que se les dota del material necesario para poder construir un robot submarino. Los profesores reciben formación por parte de los organizadores de la plataforma para que puedan guiar a sus alumnos en la construcción del robot. Al final del proyecto, se organiza un encuentro de centros en el que se ponen a prueba los robots en el agua, fomentando así la competitividad, pero también el trabajo en equipo y la imaginación.



Fig. 5 Fotografía del encuentro 2015-2016 de EDUROVs

Sin embargo, como queda expuesto, estos proyectos de promoción de la robótica no van dirigidos a alumnos universitarios. Esto hace que en estos niveles, por lo general, la robótica y la programación de robots solo entre en las aulas de grados que están relacionados directamente con ellas, como pueden ser los de Ingeniería Informática (40981, ULPGC) o Ingeniería Electrónica (44326, ULPGC) dejando de lado a numerosas titulaciones que podrían hacer muy buen aprovechamiento de los conocimientos sobre robótica a lo largo de todo su paso por la universidad, como es el Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos, en el que se centrarán los resultados del estudio.

3.2 Aportación técnica

Esta plataforma de robótica se fundamenta en tres pilares básicos que son los que la diferencian de la gran mayoría de robots ya existentes. Dichos pilares son la modularidad, el bajo coste y el sistema abierto.

La modularidad del robot permite que sea ampliable en todos los sentidos. Esto, sumado a su compatibilidad con bloques de construcción, hace que las configuraciones de tanto su estructura como de su electrónica sean ilimitadas. Un alumno de niveles de infantil o primaria podría usar las configuraciones más básicas del robot, lo que le posibilitaría incluso modificar a su antojo su estructura con los bloques de construcción. En cursos superiores, el alumno podría ir aumentando el número de módulos y diseñando mecanismos más complejos con las piezas de construcción o, incluso, diseñar y fabricar con impresión 3D nuevas piezas compatibles. Esta última también sería una actividad interesante a niveles universitarios, teniéndose en cuenta en estos casos consideraciones estructurales y de diseño de un nivel mayor. Además, pese a que la electrónica se vaya acoplando por módulos encapsulados (dado el peligro que podría suponer el cableado abierto para los niños más pequeños), estos se podrán abrir para acceder a la electrónica, lo que permitirá modificarla al antojo del usuario.

El bajo coste se asegura con estrategias similares a las usadas por Escornabot, en las que se le dota al usuario de un listado de elementos básicos necesarios para el funcionamiento de la plataforma, siendo este libre de adquirirlos donde y al precio que más le convenga (Escornabot, 2015). Además, el uso de las piezas de construcción, que pueden ser usadas o de segunda mano, ahorran bastante en los costes de la estructura impresa por fabricación aditiva, que contará nada más que con los elementos mínimos necesarios, con la posibilidad de ampliación en función de las necesidades.

Como ya se ha explicado anteriormente, la plataforma puede ser modificada al antojo del usuario sin ningún tipo de problemas. Su electrónica estará basada en Arduino, lo que asegura tanto software como hardware libre, y su estructura básica podrá modificarse sin problemas con cualquier programa de diseño asistido (CAD) antes de imprimirlo para permitir que se adapte a cualquier situación.

La combinación entre esos tres pilares básicos es lo que diferencia al proyecto ROBOT-EDULPGC de propuestas como el Edison o Escornabot. Esta primera, pese a ser compatible con bloques de construcción y tener cierto nivel de modularidad añadiendo más unidades, consta de una electrónica totalmente cerrada y no permite añadir ni sensores ni actuadores extra (Sanz, 2019). Por otro lado, Escornabot, siendo abierto a cualquier modificación, tiene un diseño que responde también al de un sistema cerrado que resultaría muy complejo de adaptar para un usuario recién iniciado. Esto genera que los alumnos más pequeños no puedan ser partícipes de su construcción y que los de niveles superiores se vean obligados a modificar todos sus componentes (las llamadas «mutaciones de Escornabot»), puesto que su diseño básico responde a funcionalidades muy sencillas.

3.3 Aportación didáctica

Esta plataforma de robótica centra su función didáctica en la multidisciplinariedad, la base del aprendizaje STEAM, un modelo educativo que persigue la integración y el desarrollo de materias científicas, técnicas y artísticas en un sistema (Yakman, 2008) y que conforma una práctica única de enseñanza y aprendizaje reduciendo la frontera entre el mundo educativo y el real (Sanders, 2006). Esta es la misma línea que siguen todos los robots educativos dirigidos a las aulas de los colegios, pues en estos casos la robótica no es el objetivo de la lección, sino un medio adicional con capacidad para integrar más conocimientos que los tradicionales (Ruiz Vicente, 2017).

En el caso de esta plataforma de robótica, esa posibilidad de integración e interdisciplinariedad se ve reforzada por la modularidad, que permite a los estudiantes ser partícipes de la configuración estructural

del robot desde etapas más tempranas, pues, como ya se ha comentado, en la mayoría de los modelos dirigidos a los más pequeños (por ejemplo, Next 2.0 o Blue-bot) la estructura es completamente cerrada.

La educación STEAM se apoya en las metodologías activas de aprendizaje, definidas como un conjunto organizado de condiciones y oportunidades que se les ofrecen a los estudiantes para crear una situación en la que será altamente probable que aprendan satisfactoriamente. Una de estas metodologías es el aprendizaje basado en proyectos, un conjunto de tareas que tiene como culminación alcanzar un producto final. Para ello, los alumnos deben trabajar de manera autónoma investigando las formas de resolver las tareas y los problemas propuestos (Ruiz Vicente, 2017).

Es en este contexto, el del aprendizaje basado en proyectos, en el que se pretende llevar esta plataforma de robótica educativa a las aulas universitarias; en este caso, las del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos. Para ello, varias de las asignaturas de todos los cursos deberán estar coordinadas tanto horizontalmente como verticalmente, aportando cada una los conocimientos necesarios para que al final se haya obtenido un diseño único de robot basado en la plataforma ROBOT-EDULPGC.

Se requeriría de ciertos cambios en los métodos de la docencia en la mayoría de las asignaturas, pero siempre se respetarían las competencias que cada una tiene como objetivo. Propuestas posibles para la integración de la robótica como método de enseñanza en esta titulación son:

- Orientar las prácticas de laboratorio de la asignatura de Informática y Programación (2º cuatrimestre) a la programación de robots, lo que permitiría adquirir los mismos conocimientos, pero de una manera más visual y provechosa para el desarrollo de actividades futuras.
- En Tecnologías del Medio Ambiente y Sostenibilidad (3º cuatrimestre), dirigir las propuestas de ecodiseño que normalmente se realizan como trabajo de curso hacia el ámbito de la estructura de un robot.
- Las prácticas de laboratorio de Electrónica Industrial (4º cuatrimestre) podrían estar enfocadas a configurar la electrónica de un robot con sistemas como los de Arduino, manteniendo así el objetivo de la asignatura, pero dotando a los trabajos realizados de un fin práctico.
- Ingeniería Gráfica, Teoría de Máquinas y Mecanismos (ambas 4º cuatrimestre) y Modelo y Representación Virtual (5º cuatrimestre) podrían seguir manteniendo la misma estructura sin grandes cambios, pero aprovechando los ejemplos prácticos para vincularse directamente con las otras asignaturas que llevan el desarrollo del robot.
- En la asignatura de Diseño y Cálculo del producto (6º cuatrimestre), se diseñarían los componentes estructurales del robot, atendiendo a las consideraciones de resistencia y las simulaciones de esfuerzos que se estudian en la asignatura.
- Tanto Metodología del Diseño (5º cuatrimestre) como Proyectos (6º cuatrimestre), tendrían la capacidad de aunar todas las partes que se han ido desarrollando por separado para desarrollar un proyecto completo.
- En Procesos Industriales (6º cuatrimestre), se analizarían los procesos de fabricación más adecuados para los componentes del robot y en Tecnologías de Desarrollo de Productos (7º cuatrimestre) se desarrollarían prototipos y piezas personalizadas.
- Finalmente, en Gestión de Proyectos (7º cuatrimestre), se documentaría todo el desarrollo del diseño del robot y se prepararía para que en Desarrollo de Productos en Materiales Plásticos (8º cuatrimestre) se pueda poner en práctica la fabricación de los componentes en estos materiales.

4. Resultados

Tomando en consideración el diseño de la innovación presentada desde un punto de vista didáctico y técnico, se introducen como resultado de este estudio las expectativas iniciales de un conjunto de estudiantes del Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Productos de la ULPGC a través de una encuesta específicamente diseñada para ello. En la titulación comentada (grupo de estudio), se pretende integrar el diseño y la fabricación aditiva de la plataforma robótica educativa modular descrita en la docencia, si bien se plantea también la encuesta a alumnos de otras titulaciones (grupo de control), obteniendo una muestra total de 78 estudiantes, distribuidos tal y como se presenta en la *Tabla 3*. Dentro del apartado «Otras titulaciones», se incluyen los grados de Ingeniería Geomática, Ingeniería Civil, Ingeniería Naval e Ingeniería en Organización Industrial.

Tabla 3. Muestra de estudiantes que respondieron a la encuesta planteada

Titulación	N (Tamaño de la muestra)
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos (Grupo de Estudio)	20
Otras titulaciones (Grupo de Control)	58
Grado en Ingeniería en Electrónica Automática e Industrial	33
Grado en Ingeniería Química	11
Grado en Ingeniería Química Industrial	5
Grado en Ingeniería Eléctrica	5
Resto de titulaciones	4

Como preguntas iniciales de la encuesta y para establecer un contexto general del punto de partida, se requirió la edad de los participantes, el curso más alto en el que estuviera matriculado el estudiante y el nivel de conocimientos de robótica. Con respecto a la edad, resultaron valores medios de 21,75 para el grupo de estudio y de 21,48 para el grupo de control, por lo que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.5752$ según test de T de Student, para el resto de las variables se ha realizado test de Chi-cuadrado al tratarse de variables discretas). Por otra parte, no existe diferencia estadísticamente significativa (para un nivel de confianza del 95%) en lo que se refiere al curso más alto de matrícula del estudiante ($p = 0.0752$), estando cerca del 50% de ambos grupos matriculados en 4º como curso más alto. Lo mismo ocurre en cuanto a los conocimientos de robótica ($p = 0.0769$), para los cuales se han establecido 4 categorías:

- Nulos.
- Básicos (juguetes educativos).
- Medios (programación por bloques).
- Avanzados (conocimientos sobre construcción, conocimientos sobre más de un lenguaje de programación).

Se observa en la *Figura 6* que la principal diferencia entre el grupo de estudio y el grupo de control en lo que se refiere a los conocimientos de robótica se encuentra en que en el grupo de control aparece

aproximadamente 1 de cada 4 estudiantes con conocimientos avanzados de robótica, mientras que en el grupo de estudio ningún estudiante declaró disponer de conocimientos avanzados de robótica.



Fig. 6 Resultados porcentuales de preguntas de contexto general: curso más alto (izquierda) y conocimientos de robótica (derecha)

El resto de cuestiones de la encuesta conforman un total de 16 preguntas:

- 12 preguntas evaluadas según la escala Likert, que se presentan en la *Tabla 4*, asignando un identificador a cada pregunta. En la *Tabla 5*, se presentan los promedios del Grupo de Estudio (Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Productos) y el Grupo de Control (Otras Titulaciones), así como el p valor que determina si existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos, concluyendo que existen si $p < 0.05$ para un nivel de confianza del 95%.
- 4 preguntas abiertas relativas a las asignaturas de aplicación de la propuesta, ventajas y desventajas del uso de la robótica y a cualquier cuestión a añadir.

Los resultados a las 12 preguntas de escala Likert presentados en la *Tabla 4* (analizados en más detalle en la *Figura 7* con diagramas radiales) demuestran que los conocimientos de robótica con los que ya parten los ingenieros del grupo de estudio les hacen ser menos proclives al planteamiento de un proyecto de robótica educativa en su titulación frente al resto de titulaciones. Este hecho es especialmente relevante en aspectos como la importancia que le dan a la robótica en el currículo de un ingeniero (promedio 0.79 unidades menor frente al grupo de control, con $p = 0.0392$), así como en que no existan diferencias estadísticamente significativas en aspectos propios de la titulación, como el diseño de componentes mecánicos o el análisis de componentes estructurales (con p-valores de 0.8728 y 0.5608 respectivamente con respecto al grupo de estudio y promedios inferiores en ambos casos: 0.11 y 0.35 unidades respectivamente). Por otra parte, cabe destacar que la única cuestión en la que existe una ligera diferencia positiva hacia la propuesta (0.12 puntos) es la referida a la preferencia por una orientación de aprendizaje basado en proyectos (ABP) frente a otra aproximación más tradicional, si bien no implica una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.3736$).

Tabla 4. 12 preguntas evaluadas en escala Likert, asignando un identificador a cada una de ellas

Identificador	Pregunta
Formación	Me gustaría recibir conocimientos sobre robótica
Importancia	Creo que los conocimientos sobre robótica son imprescindibles en el currículo de cualquier Ingeniero
Aplicación	Creo que es posible diseñar un robot que de forma modular pueda aplicarse desde niveles de Infantil hasta universitarios
Instrucciones	Considerando un robot a construir, prefiero disponer de unas instrucciones pautadas a construirlo a partir de mis propias ideas
Inconvenientes	Los docentes tendrían inconvenientes para integrar la robótica modular en las asignaturas que imparten
Electrónica	Sería sencillo integrar el diseño de la electrónica de un robot en las asignaturas de mi titulación.
Programación	Sería sencillo integrar la programación de un robot en las asignaturas de mi titulación.
C. Mecánicos	Sería sencillo integrar el diseño de componentes mecánicos para un robot en las asignaturas de mi titulación.
C. Estructurales	Sería sencillo integrar la búsqueda y el análisis de componentes estructurales para un robot en las asignaturas de mi titulación.
Coordinación	Un proyecto de robótica conjunto es un buen medio para fomentar la integración y la coordinación entre distintas asignaturas
ABP	Prefiero una orientación de aprendizaje basado en proyectos frente a otra aproximación más tradicional
Integración	Las asignaturas de mi titulación podrían incluir la construcción de un robot como proyecto sin tener que distanciarse del temario a impartir

Tabla 5. Evaluaciones promedio de grupos de estudio y control y p-valor del test de Chi-Cuadrado

Identificador	Grupo de Estudio (Promedio, N=20)	Grupo de Control (Promedio, N=58)	Diferencia de Promedios G. Estudio - G. Control	p
Formación	3,70	4,26	-0,56	0.0207
Importancia	3,05	3,84	-0,79	0.0392
Aplicación	4,05	4,03	0,02	0.7021
Instrucciones	3,35	3,50	-0,15	0.0057
Inconvenientes	3,85	3,29	0,56	0.1986
Electrónica	3,00	3,66	-0,66	0.0172
Programación	2,70	3,76	-1,06	0.0035
C. Mecánicos	3,65	3,76	-0,11	0.8728
C. Estructurales	3,25	3,60	-0,35	0.5608
Coordinación	3,70	3,91	-0,21	0.2917
ABP	4,15	4,03	0,12	0.3736
Integración	3,25	3,60	-0,35	0.3002

En lo que se refiere a las asignaturas de aplicación y a las ventajas y desventajas que los alumnos del grupo de estudio indican en las preguntas abiertas, caben destacar los siguientes aspectos:

- Asignaturas: Normalmente se refieren a asignaturas de electrónica y programación, sin embargo solo 3 alumnos de 20 (un 15%) mencionan asignaturas relacionadas con el diseño de productos.
- Ventajas: Una vez más, pocas ventajas se centran en el diseño en sí mismo del robot, lo cual podría ser una clara oportunidad para esta titulación. Los alumnos que se refieren a esta posibilidad mencionan el diseño a varios niveles, así como la ampliación en el campo del diseño.
- Desventajas: Falta de conocimientos, complejidad, falta de recursos docentes y materiales.

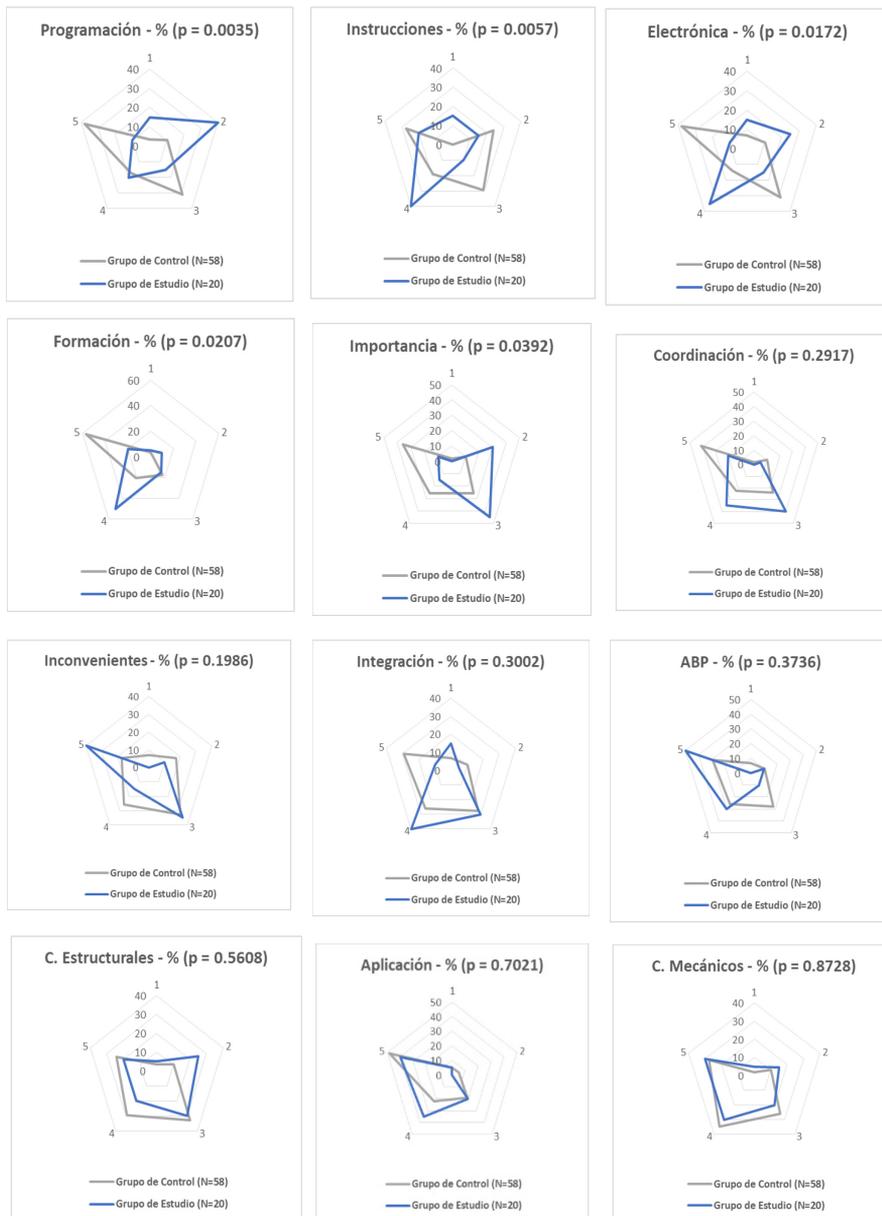


Fig. 7 Resultados porcentuales de 12 preguntas en escala Likert ordenados de mayor a menor según las diferencias estadísticamente significativas entre grupos (p-valor del test de Chi-Cuadrado)

5. Conclusiones

A partir de los resultados de este trabajo, podemos constatar una menor motivación por parte de los alumnos de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en lo referente a la integración de la construcción de un robot educativo como actividad a lo largo de la titulación frente a los alumnos de otras ramas de la ingeniería.

Como ya se ha mencionado, la falta de conocimientos previos frente a alumnos de otras titulaciones hace a los alumnos de diseño menos proclives a la aceptación de que el proyecto de robótica educativa se integre en sus aulas. Esto podría interpretarse como una defensa de los conocimientos más propios de la titulación en contra de los más generales en el ámbito de la ingeniería. Sin embargo, no se aprecia ninguna diferencia significativa en las cuestiones más estrechamente relacionadas con la titulación, lo que lleva a pensar que los estudiantes de esta titulación han asociado la robótica educativa únicamente con aspectos técnicos más propios de otras titulaciones de ingeniería. Otros aspectos fundamentales de la robótica desde el punto de vista del Diseño Industrial como son la experiencia de usuario o el diseño de interacción no son mencionados siquiera por los estudiantes. Estas ideas preconcebidas o la indisposición a plantear otras posibles dimensiones pueden haber condicionado las respuestas de los alumnos del grupo de estudio.

De hecho, en varias preguntas que no relacionan el proyecto directamente con la titulación, los resultados son por lo general muy similares a los del resto de ingenieros. Es decir, que los estudiantes de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos saben ver el potencial de la propuesta, pero no son capaces de reconocer las oportunidades que les brindaría y, por lo tanto, no la consideran adaptada para ellos.

Esto se puede constatar con las respuestas de las preguntas abiertas. En cuanto a ventajas, las respuestas se centran en la ampliación de conocimientos generales de ingeniería y su aplicación, sin ninguna aportación relevante en cuanto a las singularidades de la titulación. Es en las desventajas donde se ven las verdaderas preocupaciones de los estudiantes analizados, y son la complejidad que conllevan tantos conocimientos o la incapacidad de los docentes especializados en diseño para abordar el proyecto.

Dos de las respuestas sintetizan bastante bien lo que se ha podido constatar en las encuestas. Una de ellas habla sobre la incapacidad de los ingenieros en diseño industrial para abarcar todas las partes del proyecto, puesto que sus conocimientos son más amplios, pero no tan específicos como los de otros ingenieros. Esto nos lleva a la otra respuesta, que pone de manifiesto la importancia del aprendizaje basado en proyectos y la cooperación entre asignaturas, pero no mediante la construcción de un robot cuando se aplica a la titulación de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos, puesto que se considera que no es la forma más adecuada.

Se observa, por tanto, que la integración de una propuesta como esta en el Grado de Diseño Industrial y Desarrollo de Productos requeriría de una organización a mayor nivel implicando diferentes ingenierías que trabajasen de forma multidisciplinar, de modo que los ingenieros del grupo de estudio se dedicarían específicamente a los aspectos puramente relativos al diseño que atañen al robot. De esta forma, los alumnos de esta titulación tendrían la oportunidad de ver la robótica desde otro punto de vista más cercano a ellos, fomentando de paso la cooperación entre las diferentes titulaciones de ingeniería.

6. Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto de innovación educativa PIE-2020-56 ROBOT-EDULPGC «Diseño, implementación y puesta en práctica de una plataforma modular de robótica educativa de bajo coste», proyecto concedido en la Convocatoria de Proyectos de Innovación Educativa 2020 de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

7. Referencias

ÁLAMO, J., QUEVEDO E. y MARQUÉS J. P. *Integration of educational robotics with active didactic methodologies in primary school*. VI Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC y las TAC. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

BQ (2015). *Zowi, el robot inteligente y educativo para niños*. <<https://www.bq.com/es/zowi>> [Consulta: 16 de marzo de 2020]

CARRASCO GARCÍA, I. J. (2014). *Uso de tecnologías de fabricación aditiva en combinación con elementos de construcción infantiles para el desarrollo de modelos y prototipos* Trabajo de fin de grado. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

DA SILVA FILGUEIRA M. G. y GONZÁLEZ GONZÁLEZ C. S. (2017) “PequeBot: Propuesta de un Sistema Ludificado de Robótica Educativa para la Educación Infantil” En: *V Congreso Internacional de Videojuegos y Educación (CIVE'17)*. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna.

ESCORNABOT (2015). *Escornabot*. <<http://escornabot.com/web/>> [Consulta: 12 de febrero de 2020]

JARA BRAVO C. A. et al. (2018) “Diseño, construcción y programación de un Robot Delta de bajo coste para la enseñanza práctica de Robótica.” En: *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2017-18*. Alicante: Universidad de Alicante.

JUNIOR, L. A. et al. (2013). “A Low-Cost and Simple Arduino-Based Educational Robotics Kit” en *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Robotics and Control (JSRC)*, Volume 3, Issue 12

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN PROFESIONAL. (2019) *Sistema estatal de indicadores de la educación 2019*. Madrid: Secretaría General Técnica.

MOBSYA (2011). *Thymio, the educational robot to learn, code and create*. <<https://www.thymio.org/>> [Consulta: 6 de febrero de 2020]

MORENO, I. et al. (2012).” La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías.” En: *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, vol. 13, núm. 2, 2012, pp. 74-90

O'BRIEN, B. *Edison smashes the robotics price barrier*. <<https://meet Edison.com/edison-smashes-the-lego-robotics-price-barrier/>> [Consulta: 20 de marzo de 2020]

QUEVEDO, E. et al. (2018). “Desarrollo de Competencias STEAM mediante Robótica Marina Educativa de Bajo Coste.” En: *II Congreso Internacional en Tecnologías e Innovación Educativa*. Valencia: Universidad Internacional de Valencia.

ROBOTIX (2019). *Robótica & STEM*. <<https://www.robotix.es/es/>> [Consulta: 6 de febrero de 2020]

RUIZ VICENTE, F. (2017) *Diseño de proyectos STEAM a partir del currículum actual de Educación Primaria utilizando Aprendizaje basado en Problemas, Aprendizaje Cooperativo, Flipped Classroom y Robótica Educativa*. Tesis doctoral. Valencia: Universidad CEU Cardenal Herrera. <<http://hdl.handle.net/10637/8739>> [Consulta: 16 de marzo de 2020]

SANDERS, M. (2006). “A rationale for new approaches to STEM education and STEM education graduate programs”. En: *93rd Mississippi Valley Technology Teacher Education Conference*. Mississippi.

SANZ D. *Juegos Robótica. Robótica educativa #35 Edison, el robot más compacto.* <<https://juegosrobotica.es/podcast-035/>> [Consulta: 20 de marzo de 2020]

LEGO (2018). *Robots para niños.* <<https://www.lego.com/es-es/categories/robots-for-kids>>. [Consulta: 6 de febrero de 2020]

TTS (2018). *School supplies for Primary, Secondary & Early Years* <<https://www.tts-international.com/>> [Consulta: 22 de marzo de 2020]

UPM. *Arduino en la programación y robótica educativa.* <<https://blogs.upm.es/observatoriorigate/2017/02/01/arduino-en-la-programacion-y-robotica-educativa/>> [Consulta: 17 de marzo de 2020]

WOWWEE (2016). *Coji.* <<https://wowwee.com/coji>> [Consulta: 16 de marzo de 2020]

YAKMAN, G. (2008) “STEAM Education: an overview of creating a model of integrative education”. En: *Research on Technology, Innovation, Design & Engineering Teaching*. Salt Lake City.