

# El robot Moway, una herramienta para el aprendizaje basado en proyectos

Miguel Pagola

Edurne Barrenechea  
Daniel Paternain

Javier Fernández  
Jose Antonio Sanz

Humberto Bustince

Departamento de Automática y Computación  
Universidad Pública de Navarra  
31006 Pamplona, Navarra  
miguel.pagola@unavarra.es

## Resumen

En este trabajo se presenta la experiencia docente desarrollada en la asignatura "Sistemas Inteligentes. Aplicaciones" mediante la metodología de aprendizaje basado en proyectos. Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado el robot móvil Moway. Se describen las fases del proyecto, los resultados y las conclusiones obtenidas tras una experiencia de dos años.

## Abstract

In this work is presented the teaching experience we have had in the subject "Intelligent Systems. Applications" using the project-based learning methodology. The projects were developed using the Moway mobile robot. The different steps of the project, the results and the conclusions reached after a two-year experience are described.

## Palabras clave

Aprendizaje Basado en Proyectos, Robot, Inteligencia Artificial, Sistemas Inteligentes

## 1. Introducción

La asignatura "Sistemas Inteligentes. Aplicaciones" (SIA) es una asignatura optativa del quinto semestre de la mención "Sistemas Inteligentes y Computación" del Grado en Ingeniería Informática de la Universidad Pública de Navarra. La competencia específica de la asignatura es:

- *Conocimiento y aplicación de los principios fundamentales y técnicas básicas de los sistemas inteligentes y su aplicación práctica.*

Además, durante la asignatura se deben desarrollar las competencias transversales de *capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, autonomía y creatividad, capacidad para saber comunicar y transmitir los conocimientos y el trabajo en equipo*. Nuestro objetivo es desarrollar las competencias transversales y profesionales siguiendo una metodología aprendizaje basado en proyectos (ABPy) [?]. La enseñanza basada en ABPy se fundamenta en el desarrollo de un proyecto de cierta envergadura en grupo. Su consecución exigirá el aprendizaje de conceptos técnicos y la adquisición de habilidades.

Los estudiantes de esta asignatura han debido cursar previamente, en el cuarto semestre, la asignatura obligatoria/troncal "Inteligencia Artificial". Esta asignatura pretende proporcionar al estudiante los principios y conceptos básicos de la Inteligencia Artificial con un enfoque teórico-práctico aplicado a la Ingeniería. Los contenidos de esta asignatura son la representación en el espacio de estados, las búsquedas exhaustivas, búsquedas heurísticas, aprendizaje automático, la toma de decisión y el procesamiento de imagen.

Además, el estudiante que puede matricularse en la asignatura ya cuenta con habilidades de programación. Se pretende que al completar la asignatura SIA el estudiante consolide y aumente su conocimiento y dominio de los temas básicos de Inteligencia Artificial. Principalmente se pretende afianzar el conocimiento de la representación en espacio de estados, las búsquedas heurísticas e introducir al alumno en la representación y el manejo de la incertidumbre con técnicas probabilísticas, la planificación con incertidumbre y las máquinas de estado finitas. Bajo estas premisas se diseñaron los contenidos de la asignatura y se impartieron en los cursos 2011-2012 y 2012-2013 usando metodologías tradicionales. En dichos cursos se utilizó la robótica como aplicación principal de los contenidos del temario. Se alternaban las clases expositivas con las prácticas en el laboratorio utilizando un simulador de robot.

Actualmente existen muchos ejemplos de la utilización de la robótica como herramienta educativa [?, ?, ?]. El sistema “LEGO MINDSTORM” es el más extendido y está siendo utilizado principalmente en la educación secundaria [?] y universitaria. El reto que supone para un alumno diseñar y trabajar con un sistema físico le permite adquirir los conceptos con cierta profundidad y le anima a entrar en una dinámica de aprendizaje autónomo. Debido a la amplitud de campos de aplicación de la robótica es relativamente fácil proponer proyectos didácticos [?]. En definitiva, todas estas características hacen que la robótica sea idónea para una implantación de la metodología de ABPy [?]. En la literatura hay varios trabajos como [?, ?, ?], donde se presentan experiencias relacionadas con la utilización de robots en el marco de ABPy.

El objetivo de este trabajo es presentar cómo se ha implementado esta asignatura durante los cursos 2013-2014 y 2015-2016 mediante la metodología ABPy utilizando el robot Moway para realizar el proyecto.

El artículo está dividido en 5 secciones. En la sección 2 se presenta el proyecto. En la sección 3 se describe el desarrollo de la metodología ABPy a lo largo del proyecto, es decir, el escenario, las partes del proyecto, la evaluación, etc. Los resultados y la evaluación de la metodología ABPy se exponen en la sección 4 y finalmente en la sección 5 mostramos las conclusiones de la experiencia.

## 2. El proyecto

El proyecto constituye el elemento central del proceso de enseñanza-aprendizaje en ABPy y su elección no es trivial. El proyecto debe ser lo suficientemente atractivo para que el alumno vea la necesidad del autoaprendizaje para poder desarrollar el proyecto satisfactoriamente. El hecho de trabajar con robots sirve de revulsivo, ya que los alumnos del Grado de Informática no están habituados a las prácticas con sistemas reales. El proyecto que han de desarrollar los alumnos es un robot explorador que entra en un laberinto completamente desconocido y tiene que encontrar un objeto o marca y volver a la salida del laberinto por el camino más corto posible. Para la realización del proyecto los estudiantes disponen del robot Moway.

### 2.1. El robot Moway

El robot Moway [?] es un robot móvil sencillo tal y como se puede ver en la figura 1. El robot tiene los siguientes componentes: dos ruedas motrices, cuatro sensores infrarrojos anti-colisión, sensor de intensidad de luz direccional, dos sensores optorreflectivos infrarrojos para el suelo, acelerómetro de 3 ejes, micrófono,



Figura 1: Robot Moway.

altavoz y módulo de radiofrecuencia para la comunicación inalámbrica.

Fue diseñado como herramienta educativa de educación secundaria y ciclos formativos ya que se puede programar utilizando Scratch. Sin embargo, Moway tiene una interfaz de programación en Python que permite abordar proyectos más complejos de nivel universitario. Con esta biblioteca se puede acceder fácilmente a la información de los sensores y se pueden enviar órdenes de movimiento. La programación del script de Python se realiza en un PC y las órdenes se envían al robot a través de radiofrecuencia. Es decir, no hace falta compilar el programa ni cargarlo en el microprocesador del robot. Por lo tanto hace que la programación y prueba de los algoritmos de movimiento, control, etc. del robot sea muy rápida. La principal ventaja para utilizar el robot Moway es su bajo precio (un pack de dos unidades cuestan menos de 400€). Sin embargo tiene muy pocos sensores de proximidad y la precisión de los sensores es bastante baja.

### 2.2. Relación del proyecto con los resultados de aprendizaje de la asignatura

Para completar el proyecto satisfactoriamente hace falta desarrollar varios algoritmos y conocer técnicas que coinciden con los resultados de aprendizaje de la asignatura. En la siguiente lista se muestran las diferentes técnicas y algoritmos y su relación con los objetivos del proyecto:

- Estructuras de datos. El laberinto, por ejemplo los mostrados en las figuras 2 y 3, se puede representar como un grafo en donde cada nodo es un cruce y los arcos representan los caminos entre los cruces.
- Búsqueda exhaustiva. La exploración inicial del laberinto, se puede realizar mediante una búsqueda en profundidad. De esta forma, si no existe ningún objeto que encontrar, se explora completamente el laberinto.

- Búsqueda heurística. Una vez que el robot ha encontrado el objeto y tiene que salir del laberinto puede utilizar la búsqueda A\* para encontrar el camino más corto.
- Representación de la incertidumbre con técnicas probabilistas. Uno de los apartados más importantes para la navegación del robot es conocer en todo momento su ubicación. Sin embargo, esta información se desconoce y hay que obtenerla a través de los sensores. Se pueden utilizar los sensores de proximidad así como los que nos informan del color del suelo. No obstante, estos sensores dan una información imprecisa. El algoritmo "filtro partículas" utiliza esta información imprecisa de los sensores y obtiene una distribución de probabilidad de la posición del robot.
- Máquinas de estado finitas. Las órdenes de control del movimiento o navegación del robot a través del laberinto se pueden representar como una máquina de estados finita. Por ejemplo, el robot se encuentra moviéndose a través de un pasillo y el sensor izquierdo indica que ya no hay pared, por lo tanto, se pasa al estado *girar esquina*.
- Planificación con incertidumbre. Una vez que el algoritmo A\* calcula la ruta de salida hasta la salida, el robot comienza a hacer la serie de movimientos. Sin embargo puede colisionar o patinar, de tal forma que debe volver a calcular la trayectoria.

### 3. Desarrollo de la metodología ABPy

El proyecto tiene una duración de 10 semanas, con dos sesiones de dos horas presenciales a la semana. La primera sesión se desarrolla en un aula de teoría y la segunda sesión en el laboratorio con los robots. Además, los estudiantes disponen de varias horas a la semana para poder trabajar en el laboratorio por su cuenta.

#### 3.1. La pregunta motriz y el escenario de partida

A los estudiantes se les ha descrito el siguiente escenario: "*Vuestro grupo pertenece al departamento de rescate de accidentes de una empresa de robótica. Vuestro objetivo es crear un prototipo de robot de rescate con el robot Moway que sea capaz de entrar en una mina de la cual no se conoce el mapa, ni en qué lugar está la víctima. Con el prototipo demostraremos cómo el robot es capaz de encontrar a la víctima rastreando todo el espacio y salir de la mina*". A partir de este escenario surge la pregunta motriz que se ha expuesto a los estudiantes: *¿Cómo harías para que un*

*robot autónomo rescate a una persona en una mina en la que ha habido un accidente?*

#### 3.2. Organización de los grupos

Uno de los principales obstáculos para el éxito del trabajo cooperativo es que el alumnado raras veces cuenta con oportunidades para gestionar el hábito de negociar, tomar decisiones y organizar un reparto de tareas en grupo. Por este motivo los estudiantes tienen que formar grupos de tres o cuatro personas. Es un tamaño de grupo que permite afrontar proyectos de bastante entidad sin peligro de parasitismo.

#### 3.3. Identificación de objetivos de aprendizaje

La primera tarea que tiene cada grupo de trabajo es identificar las técnicas o algoritmos que necesitarían para poder desarrollar el proyecto. Para realizar esta primera tarea los grupos disponen de una semana y realizan una presentación para poner en común sus conclusiones. En la presentación tienen que exponer tanto las habilidades y algoritmos que ya dominan (programación, algoritmos de búsqueda) como los que todavía no conocen (librería Python del robot, navegación del robot, algoritmos de localización, etc). Además, con unas breves aportaciones por parte de los profesores en ese mismo día, se consigue identificar definitivamente las técnicas que necesitan aprender para desarrollar el proyecto. La siguiente tarea a la que se enfrentan es hacer una planificación y el reparto temporal, así como una asignación de tareas a cada componente del grupo. Este documento consiste en el "entregable 0" que puede ser modificado en las primeras semanas del desarrollo del proyecto, conforme los estudiantes adquieran más conocimiento de la programación del robot y de las complejidades de los algoritmos.

#### 3.4. Los hitos del proyecto

Básicamente los apartados en los que se puede dividir el proyecto son: construcción del laberinto, navegación del robot, representación del mapa o laberinto, localización del robot dentro de un mapa, exploración de un laberinto y cálculo de una trayectoria óptima hasta la salida. En las figuras ?? y ?? se muestran dos laberintos creados por dos grupos. En lugar de marcar unos entregables y unas fechas fijas por cada hito del proyecto, se deja total libertad a los grupos para hacer su planificación. Todos los documentos y el material realizado deben entregarse en la fecha tope de finalización del proyecto. Durante el desarrollo del mismo las sesiones que se hacen en el aula de teoría están pensadas para resolución de problemas en grupo, planteamiento

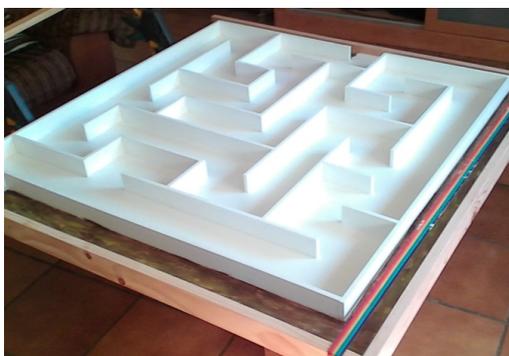


Figura 2: Laberinto 1 creado por un grupo de estudiantes



Figura 3: Laberinto 2 creado por un grupo de estudiantes

de dudas a los profesores y discusión entre los miembros del grupo. Los temas a tratar deben estar guiados por las necesidades de los grupos.

### 3.5. Evaluación

Uno de los aspectos más complicados en la metodología de ABPy es la concepción de un sistema de evaluación que sea equitativo entre todos los alumnos. En principio se pensó en evaluar a cada integrante del grupo según las tareas que tenía asignadas en el entregable 0. Sin embargo, al tratarse de los primeros años de utilizar la metodología ABPy, se ha puntuado a todo el grupo con la misma calificación.

El día de finalización del proyecto se debe entregar el siguiente material:

- Entregable 2: debe contener el material generado durante el desarrollo del proyecto, apuntes, ejercicios resueltos, ejemplos, pruebas de concepto, etc.
- Entregable 3: debe contener el conjunto de archivos de código Python. Debe estar creado de tal forma que si se descomprime en un ordenador del laboratorio de prácticas y se lanza el script principal el robot ejecuta las tareas del proyecto.
- Entregable 4: informe técnico del proyecto, características principales, diseño, algoritmos y todo el material necesario que los componentes del grupo consideran adecuado para la mejor interpretación del desarrollo que han hecho del proyecto planteado.

Además, cada grupo debe realizar una presentación del trabajo. En la presentación se debe describir principalmente el entregable 4, los algoritmos de movimiento, cálculo de la trayectoria y localización. El momento más importante es la demostración final en la que utilizando los archivos del entregable 2 se evalúa el funcionamiento real del proyecto. Hay dos pruebas P1 y P2.

- P1: consiste en localizar el objetivo y volver a la salida por el camino más corto en una posición fácil de la maqueta.
- P2: consiste en localizar el objetivo y volver a la salida por el camino más corto en una posición difícil de la maqueta.

Cada grupo dispone de tres intentos en cada una de las pruebas. Si se superaba cada una de las pruebas se gana un porcentaje de la nota final. La valoración del proyecto se realiza siguiendo el cuadro ??.

### 3.6. Jornada de recapitulación

Una vez que los proyectos hayan sido entregados se realiza una sesión de debate y reflexión sobre el desa-

1	Realizar satisfactoriamente P1	15 %
2	Realizar satisfactoriamente P2	15 %
3	Calidad y claridad del código	10 %
4	Entregable 4	20 %
5	Calidad y complejidad del prototipo	10 %
6	E2. Material complementario	15 %
7	Presentación	15 %

Cuadro 1: Evaluación del proyecto.

rollo de los proyectos con el fin de reforzar el aprendizaje del trabajo en grupo. Se plantean las siguientes cuestiones a debatir por los estudiantes.

- ¿Habéis seguido la planificación que hicisteis en el entregable 0?
- ¿Habéis seguido el reparto de las tareas?
- ¿Qué roles de trabajo había dentro del equipo?
- ¿Cuál ha sido la mayor dificultad del proyecto?, ¿era posible preverla?
- Si tuvieses que hacer de nuevo el proyecto, ¿qué planificación harías?
- ¿Habéis utilizado algún software de manejo de versiones?
- Cada vez que completabas una función; ¿hacías pruebas para comprobar que funcionaba en todos los casos posibles?

Con este debate se pretende que los estudiantes se conciencien sobre la importancia de las metodologías de planificación de los proyectos software, las herramientas para la gestión del software y el trabajo en equipo.

## 4. Resultados

La valoración de esta experiencia es cualitativa y se basa en la opinión de los alumnos así como en la percepción personal del profesorado.

Los resultados en la evaluación son similares a cursos anteriores y no son representativos ya que el número de alumnos ha variado mucho durante los cuatro años en los que se ha impartido la asignatura (curso 2012-13, 10; curso 2013-14, 15; curso 2014-15, 8; curso 2015-14, 37).

### 4.1. Evaluación de la metodología ABPy por parte de los estudiantes

Para evaluar la experiencia de la metodología ABPy se realizó, en el curso 2015-2016, una encuesta a los estudiantes con las preguntas de la figura ???. Parte de estas preguntas son idénticas a las usadas en [?] que son proporcionadas por el Servicio de Asesoramiento Educativo de la UPV/EHU. Cada pregunta se debe puntuar entre 1 (en desacuerdo) y 5 (totalmente de

acuerdo). Además, en una caja de texto libre, los alumnos podían dejar sus comentarios o sugerencias.

En general, la valoración es muy positiva en todos los aspectos. En particular, los estudiantes están especialmente de acuerdo en que el ABPy ha mejorado sus capacidades de autoaprendizaje, que han adquirido competencias que les servirán en su práctica profesional y que ha influido en aumentar su interés por la asignatura. La primera pregunta es la que menor puntuación obtiene, es decir, que en opinión de los estudiantes este tipo de metodología no les ha ayudado a comprender mejor los conceptos teóricos. En cuanto a los comentarios que dejaron los estudiantes, el que más se repetía era la dificultad de planificar el proyecto correctamente y muchos de ellos pedían que los entregables se distribuyeran a lo largo del desarrollo del proyecto.

### 4.2. Evaluación de la metodología ABPy por parte del profesorado

Desde la percepción del profesorado la experiencia ha sido muy positiva en tanto que la participación y la motivación de los estudiantes ha sido muy alta. Esto ha sido respaldado por el resultado de las encuestas. Después del primer curso utilizando el robot Moway, en el segundo curso 2015-2016, la matrícula se ha incrementado notablemente, de 8 estudiantes a 37. Al ser una asignatura optativa muchos estudiantes de otras menciones han decidido cursarla. Respecto a las competencias transversales de capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, autonomía y creatividad, capacidad para saber comunicar y transmitir los conocimientos y el trabajo en equipo, la percepción es que se han trabajado y adquirido satisfactoriamente.

Por su parte, el profesorado considera que la metodología ABPy es estimulante. El nivel de comunicación entre el profesor y los alumnos es elevado, y se crea un entorno de aprendizaje marcado por una buena predisposición de los alumnos. El nivel de absentismo se redujo de forma significativa y los alumnos han encontrado alicientes para ir al laboratorio en horas no lectivas.

El carácter abierto del proyecto ha permitido a los estudiantes tener enfoques distintos para sus soluciones (laberintos con características diferentes), originando así auténticos debates sobre las posibles soluciones. En definitiva, los estudiantes se han sentido como verdaderos ingenieros que han participado en la concepción de un sistema complejo.

## 5. Conclusiones

En este trabajo, se ha presentado una experiencia práctica de implantación de la metodología ABPy utilizando el robot móvil Moway. El desarrollo del proyecto ha permitido a los alumnos desarrollar habilidades relacionadas con el trabajo en grupo, autoaprendizaje, toma de decisiones, etc. y además han adquirido los conocimientos que estaban reflejados en los resultados de aprendizaje de la asignatura.

Evidentemente existen varios puntos de mejora. El más importante es intentar que los estudiantes profundicen en el autoaprendizaje. Al final, las sesiones en el aula de teoría se convirtieron en auténticas sesiones de teoría porque ningún grupo había dado importancia a aspectos básicos como la localización o el tratamiento de la incertidumbre. Como se ha comentado anteriormente, los estudiantes creyeron que con los conocimientos teóricos que poseían les bastaba para desarrollar el proyecto. Otro aspecto a mejorar es la inclusión de entregas parciales, como pedían varios grupos, para ayudarles en su planificación y orientarles sobre las prioridades en las primeras semanas del proyecto.

Los sensores del robot Moway tienen muy poca precisión y existe bastante variabilidad respecto a los valores que miden los sensores entre diferentes robots. Este problema causó bastante retraso y frustración entre los alumnos al fallar programas que días antes les funcionaban. Se puede solucionar trabajando siempre con el mismo robot.

Después de esta experiencia se puede concluir que el robot Moway se podría utilizar para impartir parte de otras materias como por ejemplo, programación, algoritmia o inteligencia artificial del Grado de Ingeniería Informática siguiendo la metodología ABPy.

## Referencias

- [1] N. Aliane, S. Bemposta, Una Experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos en una Asignatura de Robótica, *IEEE-RITA*, 3 (2), 71–77, 2008.
- [2] A. Chiou, Teaching technology using educational robotics, *International Conference on Autonomous Robots and Agents*, 13–15, 2004.
- [3] J. T. Doswell y P. H. Mosley, An innovative approach to teaching robotics, *6th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies*, 1121–1122, 2006.
- [4] A. Druin, y J. Hendler, Robots for kids: Exploring new technologies for learning, *Academic Press*, 2000.
- [5] P. J. Gawthrop y E. McGookin, A Lego-based control experiment, *IEEE Cont. Sys. Mag.*, 24(5)m 43–56, 2004.
- [6] A. Goni, J. Ibáñez, J. Iturrioz, J. Ángel Vadillo, Aprendizaje Basado en Proyectos usando metodologías ágiles para una asignatura básica de Ingeniería del Software, *Actas de las XX JENUI*. Oviedo, 133–140, 2014.
- [7] S. Gwen, Project-based learning: a primer, *Technology and Learning*, vol. 23, no 6, pp 20-30, 2003.
- [8] D. Hung, Situated cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology, *Journal of Interactive Learning Research*, 13(4), 393–414, 2002.
- [9] G. Mingyang, A Case to do empirical study using educational project, *Journal of Issues in Informing Science and Information Technology*, 1(1), 509–520, 2004.
- [10] <http://moway-robot.com/conoce-moway/que-es>
- [11] Y. Piguet, F. Mondada y R. Siegwart, Hands-on mechatronics: Problem-based learning for mechatronics, *IEEE Inter. Conf. on Rob. Autom.*, 2002.
- [12] M. W. Spong, Project based control education, *7th IFAC Symp. Advances in Control Education*, 40–47, 2006.

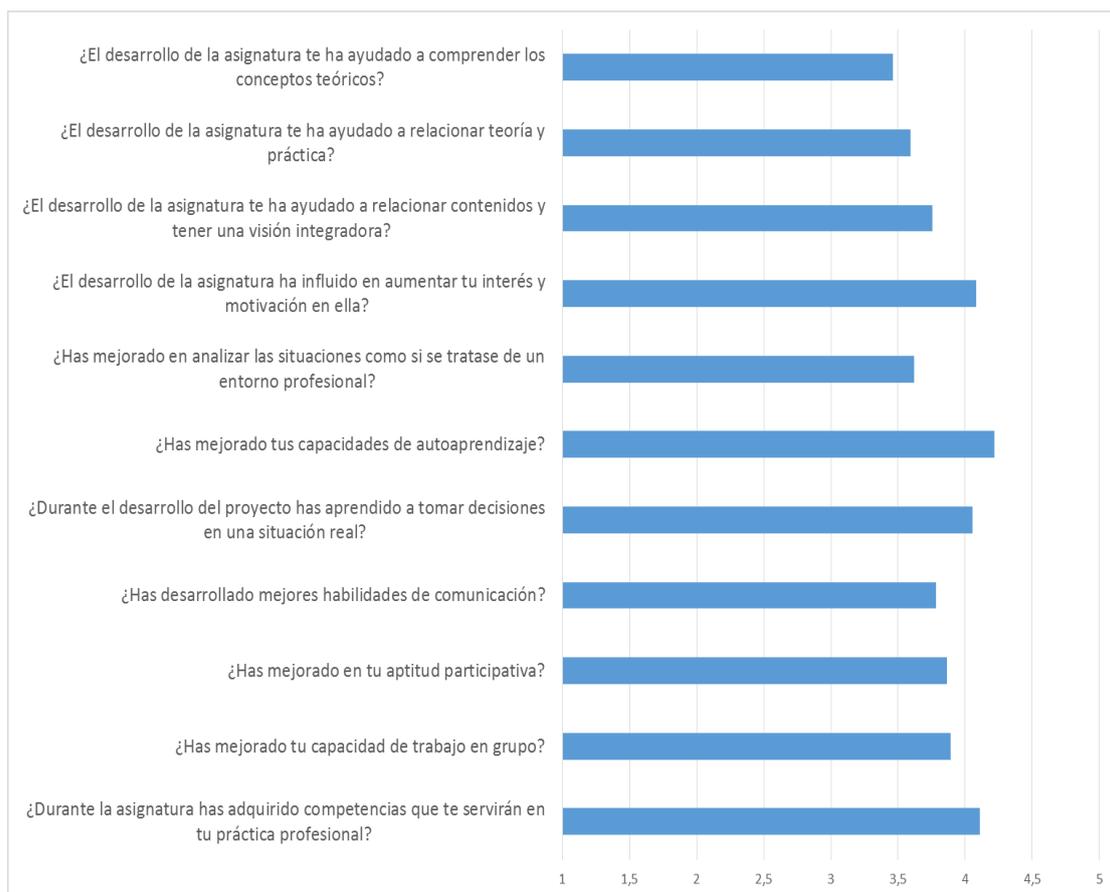


Figura 4: Encuesta realizada a los estudiantes.