

# APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS ROBÓTICOS

*Sergio Bermejo*

**Departament d'Enginyeria Electrònica,  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC),  
Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona.  
[sbermejo@eel.upc.es](mailto:sbermejo@eel.upc.es)**

## RESUMEN

El aprendizaje colaborativo, que parte de un punto de vista más evolucionado al del aprendizaje cooperativo, implica a los estudiantes a trabajar en pequeños grupos para que desarrollen su propia respuesta a través de la interacción y gracias a alcanzar un consenso. Por aprendizaje colaborativo se entiende habitualmente como aquel en el que un grupo de estudiantes trabaja en equipo para: tomar una decisión, crear un producto, elaborar un proyecto, etc; utilizando diversas áreas de conocimiento para contribuir a un producto final de alta calidad que excede de lejos la capacidad de cada miembro individual. En el aprendizaje colaborativo, la autoridad está compartida entre el profesor y los estudiantes ya que estos últimos juegan un papel importante a la hora de estructurar las tareas y los equipos.

Un tipo especial de aprendizaje colaborativo es el que se produce en la enseñanza por proyectos orientados a problemas (Problem-oriented Project Learning). En este tipo de docencia los alumnos intentan resolver en grupo problemas teóricos que exceden sus competencias actuales y que se resuelven a partir de la supervisión de su trabajo y clases de apoyo realizadas por el profesorado. Además, mediante el trabajo basado en proyectos orientados a la solución de problemas se puede enseñar a los alumnos a considerar algunos de los problemas teóricos principales dentro de la profesión y a orientarles en su afán por solucionar estos problemas. En este tipo de enseñanza, los problemas encaminan a los alumnos conjuntamente con los profesores hacia las áreas más importantes del conocimiento teórico, que son esenciales para solventar los problemas profesionales actuales. El trabajo por proyectos se organiza en grupos de alumnos y puede aglutinarse en dos categorías principales:

1. El **orientado al diseño**. Se trabajan los problemas prácticos en términos de una síntesis del conocimiento. Este tipo de trabajo desarrolla el conocimiento básico tradicional y las capacidades dentro de la tradición profesional. Los alumnos **aprender a saber cómo**.
2. El **orientado a resolver el problema**. Se encarga de la resolución de problemas prácticos mediante el uso del conocimiento más relevante. Aquí el trabajo por proyectos se centra en explorar y trabajar un problema práctico con una solución básicamente desconocida.

En este artículo presentamos, una aproximación al aprendizaje basado en proyectos que integra estas dos orientaciones (diseño y resolución de problemas) en el contexto de la robótica autónoma basada en el comportamiento. Dicho

enfoque ha sido probado con éxito durante dos años en un curso de segundo ciclo de los planes de estudio de Ingeniero en Telecomunicación y Electrónica pertenecientes a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona.

## **1. APRENDIZAJE COOPERATIVO VS. COLABORATIVO**

Es bien sabido en el campo de la pedagogía que para conseguir un aprendizaje significativo del alumnado es necesario que estos participen activamente en las actividades de la asignatura. Para ello es necesario plantear un paradigma de la enseñanza diferente al tradicional. En la Tabla 1 se muestran las diferencias entre un enfoque tradicional y uno que soporta el aprendizaje activo de los alumnos.

El paradigma tradicional asume que es posible transferir información a alumnos pasivos de forma que posteriormente éstos puedan ser clasificados y ordenados en un entorno eminentemente competitivo. Este tipo de docencia tiene como pilar básica las clases magistrales en las que el estudiante debe ser pasivo, estar en silencio y aislado de los demás de forma que la competición con el resto de compañeros sea la única alternativa posible. Sin embargo, resulta viable abandonar este paradigma tradicional hacia uno basado la aplicación práctica de la teoría e investigación realizada en el campo de la pedagogía que nos ayude a reafirmarnos, más si cabe, en la educación y el aprendizaje de los alumnos.

El nuevo paradigma, a través de los resultados de las investigaciones en pedagogía, tiene una visión de la docencia en el que el alumno es la razón de ser del trabajo de los profesores. En este paradigma, la relación entre alumnos y profesores es muy estrecha y sirve para implicar activamente a los alumnos en su propio proceso de aprendizaje de forma individual como en grupo. Así el aprendizaje se ve como algo social y que debe ser construido por los propios alumnos con la ayuda del profesor. Además, estos se centraran en desarrollar las habilidades y talentos de los alumnos en un entorno, que debe ser fundamentalmente, cooperativo.

### **1.1. Aprendizaje cooperativo**

La implementación del nuevo paradigma de enseñanza en la universidad empieza con el uso del aprendizaje cooperativo. La cooperación es un trabajo en equipo para conseguir objetivos compartidos. En situaciones cooperativas, los individuos buscan resultados que son beneficiosos para ellos mismos así como para los otros miembros del grupo. Los estudiantes son todos responsables de ayudarse mutuamente a la hora de aprender una serie de conceptos o cierta información. Los miembros del equipo deben velar para que todos sus integrantes tengan éxito. Así, los estudiantes asumen el papel de profesores a la vez que compañeros y aprendices. En el aprendizaje cooperativo, el instructor mantiene su máxima autoridad mediante la estructuración de las tareas y los equipos. Podemos decir por lo tanto que el aprendizaje cooperativo es el uso

docente de pequeños grupos en los que los estudiantes trabajan juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los otros miembros. Este tipo de aprendizaje puede ser contrastado con el individualista y el competitivo (ver Tabla 2). Mientras que el uso apropiado de estos tipos de aprendizaje queda limitado a situaciones muy concretas, cualquier tarea de aprendizaje puede ser estructurada de forma cooperativa.

<b>Factor</b>	<b>Paradigma Tradicional de la Enseñanza</b>	<b>Nuevo paradigma de la Enseñanza</b>
<b>Conocimiento</b>	Transferido de los profesores a los estudiantes	Construida conjuntamente por los estudiantes y la universidad
<b>Estudiantes</b>	Contenedor vacío a ser rellenado por el profesor	Constructor, descubridor y transformador activo De su propio conocimiento
<b>Naturaleza del Aprendizaje</b>	El aprendizaje es básicamente individual requiere motivación extrínseca	El aprendizaje es básicamente social; Requiere un entorno de ayuda que libere la motivación intrínseca
<b>Propósito de la universidad</b>	Clasificar y ordenar a los estudiantes	Desarrollar los talentos y competencias de los estudiantes
<b>Relaciones</b>	Relaciones impersonales entre los estudiantes y entre los profesores y los estudiantes	Comunicación personal entre los estudiantes y entre los profesores y los estudiantes
<b>Contexto</b>	Competitivo e Individualista	Aprendizaje cooperativo en el aula y equipos cooperativos entre los profesores.
<b>Punto de partida</b>	Cualquier experto puede enseñar	Enseñar es complejo y requiere considerable entrenamiento

Tabla 1. Comparación entre los paradigmas tradicional y nuevo de enseñanza.

<b>Cooperativo</b>	<b>Individualista</b>	<b>Competitivo</b>
Los estudiantes se ayudan mutuamente para que todos tengan éxito.	Los estudiantes trabajan por ellos mismos para conseguir objetivos de aprendizaje que no están relacionados con los del resto de compañeros.	Los estudiantes trabajan unos contra otros para conseguir un objetivo académico como una matrícula de honor que pocos estudiantes pueden obtener.

Tabla 2. Comparación entre aprendizaje cooperativo, individualista y competitivo.

## 1.2. Aprendizaje colaborativo

El aprendizaje colaborativo avanza un paso más hacia adelante que el aprendizaje cooperativo. Al igual que éste, involucra a los estudiantes a trabajar en pequeños grupos. Sin embargo, se les empuja a desarrollar su propia respuesta al problema o tema que se aborda – que no necesariamente debe existir de

antemano- a través de la interacción y gracias a alcanzar un consenso. Por aprendizaje colaborativo se entiende habitualmente como aquel en el que un grupo de estudiantes trabaja en equipo para: tomar una decisión, crear un producto, elaborar un proyecto, etc; utilizando diversas áreas de conocimiento para contribuir a un producto final de alta calidad que excede de lejos la capacidad de cada miembro individual. En el aprendizaje colaborativo, la autoridad está compartida entre el profesor y los estudiantes ya que estos últimos juegan un papel importante a la hora de estructurar las tareas y los equipos. En la Tabla 3 se muestran las diferencias entre aprendizaje cooperativo y colaborativo.

<b>Aprendizaje cooperativo</b>	Los estudiantes se ayudan entre ellos para aprender una serie de conceptos intentando que todos los miembros del equipo tengan éxito.
<b>Aprendizaje colaborativo</b>	Los alumnos trabajan juntos para crear un producto, utilizando diversas áreas de conocimiento para contribuir a un producto final de alta calidad que excede de lejos la capacidad de cualquier miembro del grupo

Tabla 3. Aprendizaje cooperativo vs. aprendizaje colaborativo.

Un tipo especial de aprendizaje colaborativo es el que se produce en la enseñanza por proyectos orientados a problemas (*Problem-oriented Project Learning*). En este tipo de docencia los alumnos intentan resolver en grupo problemas teóricos no del todo (o nada) resueltos a partir de la supervisión de su trabajo y clases de apoyo realizadas por el profesorado. Una característica sobresaliente de este tipo de docencia reside en que los alumnos aprenden a resolver problemas en los que no existe todavía una solución cerrada. Además, mediante el trabajo basado en proyectos orientados a la solución de problemas se puede enseñar a los alumnos a considerar algunos de los problemas teóricos principales dentro de la profesión y a orientarles en su afán por solucionar estos problemas. En este tipo de enseñanza, los problemas encaminan a los alumnos conjuntamente con los profesores hacia las áreas más importantes del conocimiento teórico, que son esenciales para solventar los problemas profesionales actuales. En la Tabla 4 se muestran algunas de las características de este tipo de enseñanza que le aportan un valor añadido.

<b>Aprendizaje basado en proyectos orientados a la solución de problemas</b>	
Los problemas determinan la selección de los métodos	Es interdisciplinar en su naturaleza
Se imparte a los alumnos una metodología adecuada para afrontar los problemas desconocidos del futuro.	Permite aprender a aprender
Los problemas prácticos son los que guían a los alumnos en su elección de teorías relevantes	Puede superar la separación entre teoría y práctica

Tabla 4. Características ligadas entre sí que aportan un valor añadido al aprendizaje basado en proyectos orientados a la solución de problemas.

El trabajo por proyectos se puede organizar en grupos de alumnos y puede dividirse en dos categorías principales:

1. El orientado al diseño. Se trabajan los problemas prácticos en términos de una síntesis del conocimiento. Este tipo de trabajo desarrolla el conocimiento básico tradicional y las capacidades dentro de la tradición profesional. Los alumnos aprenden a saber cómo.
2. El orientado a resolver el problema. Se encarga de la resolución de problemas prácticos mediante el uso del conocimiento más relevante. Aquí el trabajo por proyectos se centra en explorar y trabajar un problema práctico con una solución básicamente desconocida.

Este tipo de trabajo en grupo permite desarrollar las capacidades de los alumnos para:

- ❑ Formular objetivos, metas y propósitos,
- ❑ Iniciar y acabar proyectos dentro de unos límites y unas estructuras determinadas,
- ❑ Analizar y especificar problemas, objetivos o criterios para las soluciones
- ❑ Comunicar, redactar informes, diseñar planes y presentarlos a una auditoría,
- ❑ Colaborar, organizar y planificar el proceso del trabajo
- ❑ Desarrollar proyectos y salir airoso de ello.

## **2. ROBOTS BASADOS EN EL COMPORTAMIENTO**

Durante el siglo XX, y gracias al considerable avance tecnológico, han ido progresivamente apareciendo diversos tipos de sistemas artificiales de apariencia antropomórfica, conocidos con el nombre de robots. Existen muchas clases de robots, pudiendo ser diferenciados de acuerdo a su arquitectura interna, tamaño, materiales con los que están hechos, la forma en que estos materiales se han unido, los actuadores que utilizan (p.e. motores y transmisores), los tipos de sistemas sensoriales que poseen, sus sistemas de locomoción, los ordenadores que tengan a bordo. Si bien hasta la fecha los robots han permitido una automatización elevada de tareas simples y repetitivas en procesos industriales y otras áreas, la construcción de robots que exhiban un cierto grado de inteligencia humana es todavía un problema abierto.

*Un robot considerado inteligente deberá ser una máquina autónoma capaz de extraer selectivamente información de su entorno y utilizar el conocimiento sobre el mundo que le rodea para moverse de forma segura, útil e intencionada.* Sin embargo, los elevados grados de autonomía e intencionalidad necesarios en un comportamiento inteligente han resultado especialmente difíciles de ser sintetizados artificialmente a pesar del optimismo inicial que exhibieron los fundadores de la Inteligencia Artificial (IA).

En la robótica existen tres funciones básicas ampliamente aceptadas: percepción, planificación y actuación. A la primera categoría pertenecen las funciones

que proporcionan la información básica del exterior a través de los sensores del robot. Todas las funciones que a partir de los sensores o del conocimiento almacenado producen directrices o tareas que debe acometer, pertenecen a la planificación. Por último, las funciones de actuación están formadas por todas aquellas que ejercen el control de los actuadores del robot. Estas tres primitivas pueden encontrarse organizadas de forma diversa dependiendo del paradigma robótico empleado (Fig. 1). El paradigma deliberativo o jerárquico, prevaleciente hasta los 90, propone un procesado hacia abajo (top-down) donde la planificación juega un papel predominante. Así el robot, percibe la información del mundo exterior, posteriormente planea su siguiente movimiento y entonces actúa. Otra característica distintiva del paradigma deliberativo es el uso de un modelo central, donde se guarda la información captada del exterior, que sirve al planificador emplea para decidir sus acciones.

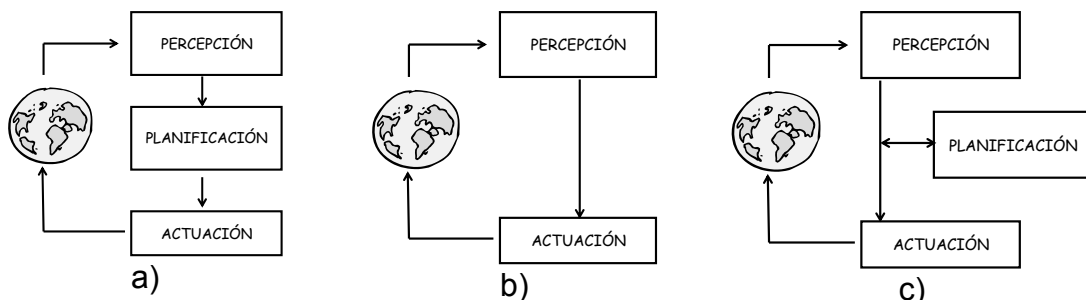


Fig. 1. Tres paradigmas robóticos: a) deliberativo, b) reactivo y c) híbrido.

El paradigma reactivo surge a finales de los años 80 como respuesta al paradigma deliberativo y supuso un giro en el enfoque que se podría considerar como una vuelta a las raíces. La IA se había concentrado en las últimas décadas casi exclusivamente en la resolución de problemas cognitivos de alto nivel basado en un procesado simbólico de la información con el objeto de construir sistemas expertos que manipularan, formalizaran y representaran el conocimiento extraído. Asimismo, estos sistemas habitualmente utilizaban abstracciones o simplificaciones completamente desligadas de la percepción y actuación en el mundo real (p.e. entornos estáticos). Esta aproximación, provocaba en el caso de la robótica que estas dos acciones estuvieran: 1) tratadas simbólicamente de una manera especialmente simplista en el interior del robot y 2) relegadas a las acciones emprendidas por módulos de mayor nivel jerárquico como los de planificación y de toma de decisiones que en entornos dinámicos resultaban altamente ineficaces.

Por el contrario, en los primeros tiempos de la IA parte de los esfuerzos se habían concentrado en sistemas de procesado numérico que permitían resolver tareas ligadas principalmente a la percepción, desarrollando así sistemas con una inteligencia artificial vinculada al mundo real o personificada (*embodied*). Dadas las limitaciones que presentaban los robots basados en el conocimiento, surgió en el seno de la robótica una corriente que proponía retomar los principios de la inteligencia personificada. Así surgieron los denominados robots reactivos o basados en el comportamiento.

Los robots basados en el comportamiento parten de la premisa básica que entiende la inteligencia como una propiedad emergente del robot fruto de la interacción con su entorno. Así será posible dar una respuesta adecuada al entorno

a través de una acción estrechamente ligada a la percepción. Este tipo de robots presentan una arquitectura modular en la que varios tipos de comportamientos se pueden integrar en su seno permitiendo un acople directo entre la percepción y la acción, típicamente en el contexto de los comportamientos de los motores, para producir una respuesta en entornos desestructurados y cambiantes (Fig. 2). Aunque podemos encontrar los primeros robots basados en el comportamiento en la década de los 50, únicamente a partir de los años 80 y 90 se empiezan a estudiar y desarrollar de forma extensiva. Ambos enfoques convergen en el paradigma híbrido (Fig. 1c) en el que la planificación divide la misión a acometer en un conjunto de tareas organizadas a partir de diferentes comportamientos que se ejecutan.

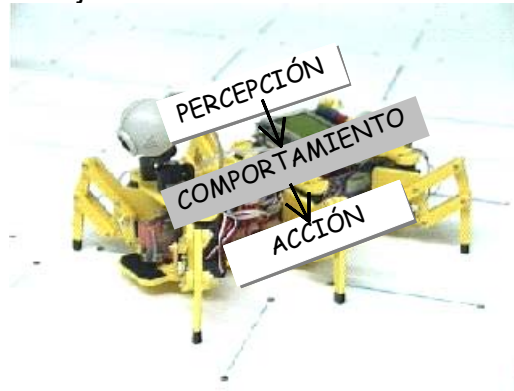


Fig. 2. Arquitectura modular básica de un robot basado en el comportamiento: percepción, comportamiento y acción.

### 3. PROYECTOS ROBÓTICOS: ESTUDIO DE UN CASO

Dentro de la asignatura *Sensores, Actuadores y Microcontroladores*, asignatura de segundo ciclo de los planes de estudio de Ingeniero en Telecomunicación y Electrónica pertenecientes a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona, se ha integrado las partes de aplicación y laboratorio de forma que den lugar a la realización de un proyecto robótico guiado. A partir de un problema robótico concreto y de una solución previamente diseñada, los alumnos desarrollan un robot a través de la realización de un conjunto de tareas prefijadas que cubren todo el ciclo de vida del desarrollo (Fig. 3). Así en la parte de aplicación se llevará a cabo el análisis del problema robótico así como el diseño de una solución, mientras que en el laboratorio se implementará la solución robótica y se comprobará su correcto funcionamiento.

Para el desarrollo del robot, se crean grupos de trabajo (formados por 4 estudiantes). Estos grupos deberán seguir en la elaboración del robot, el ciclo propuesto en la Fig. 3 que se ha dividido en un conjunto de fases o tareas a realizar con el objeto de orientar los esfuerzos dado el tiempo limitado que se dispone para realizar el proyecto robótico (15h aplicación + 15h laboratorio). Como punto de partida, se dispondrá de una solución previa al problema planteado que deberá analizarse con el objeto de ser mejorada en el desarrollo posterior. El calendario a seguir en la realización de las tareas así como su peso relativo en las notas de aplicación y prácticas emitidas por el instructor se proporcionan a los alumnos con objeto de que conozcan los plazos de entrega de cada una de las tareas, distribuidos a lo largo del curso.

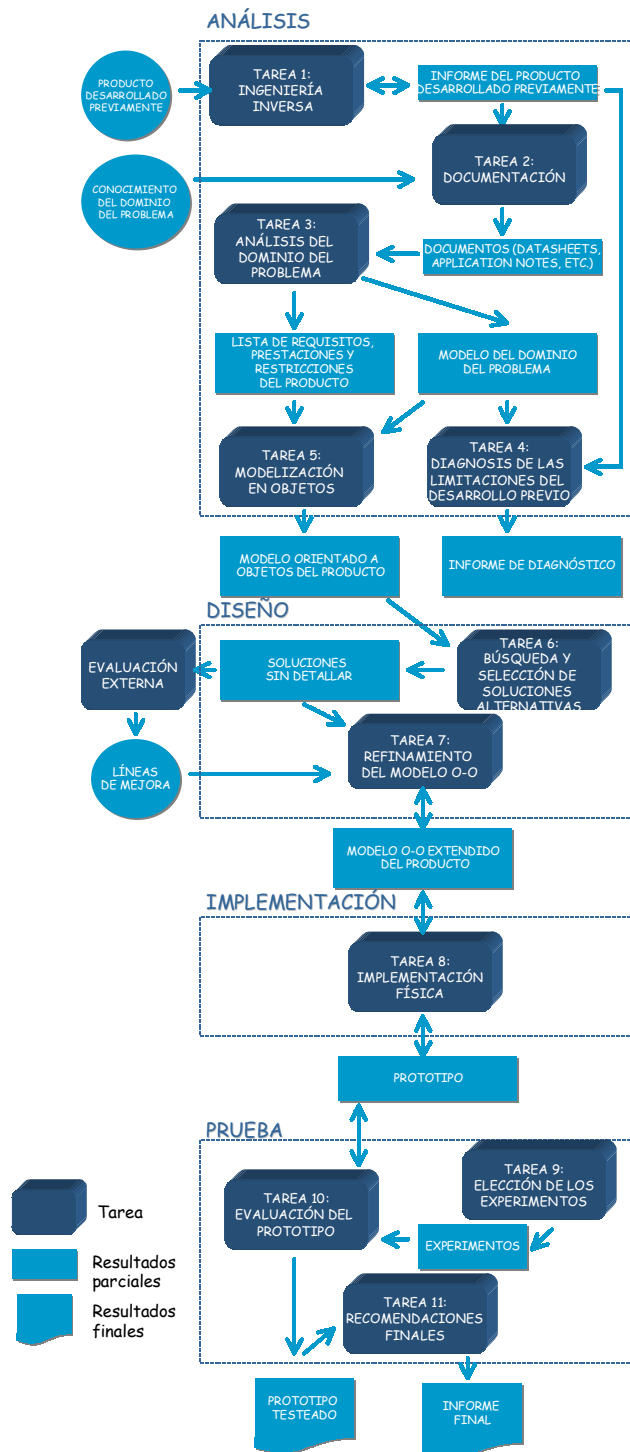


Fig. 3. Tareas en las que se divide el proyecto robótico.

Así, los alumnos deberán realizar a lo largo del desarrollo del proyecto las siguientes tareas:

1. *Análisis (I): Ingeniería inversa.* Se procederá a estudiar el esquema proporcionado del robot con el propósito de elaborar un informe.
2. *Análisis (II): Documentación.* Se deberá obtener información relevante para la realización del robot. Se aconseja conseguir de los principales fabricantes de material electrónico *datasheets* y *application notes* relacionados con el proyecto.



3. *Análisis (III): Análisis del Dominio del Problema.* En esta fase se estudiará en primer lugar la percepción y acción necesarias para la resolución del proyecto. Para ello, se obtendrá un modelo simplificado de la percepción de bajo nivel y acción que contenga todos aquellos parámetros y fórmulas relevantes. Asimismo, a partir de las especificaciones del robot proporcionadas y de los modelos obtenidos de la percepción de bajo nivel y la acción, se elaborará una lista de requisitos, especificaciones de prestaciones y restricciones del robot a elaborar.
4. *Análisis (IV): Diagnóstico de las limitaciones en el desarrollo previo.* Una vez analizado el dominio del problema se estará en condiciones de determinar las causas de las limitaciones detectadas en el desarrollo previo subministrado. Para ello se deberá elaborar un informe de diagnóstico de una hoja.
5. *Análisis (V): Modelado en Objetos.* A partir de la lista de detalles técnicos y con los modelos de la percepción y la acción definidos, se modelará el robot a construir mediante una metodología orientada a objetos (O-O).
6. *Diseño (I): Búsqueda y Selección de soluciones alternativas.* A partir del modelo del robot O-O, la documentación adquirida y la lista de detalles técnicos del robot, se deberán obtener diversas soluciones (especialmente de la parte electrónica del robot) y finalmente escoger dos para ser llevadas a cabo.
7. *Evaluación de la propuesta.* Los profesores de la asignatura realizarán una evaluación crítica de las propuestas presentadas con el objeto de: 1) Determinar aquellos factores relevantes, no definidos en la propuesta, que deben ser considerados en la implementación de la solución y 2) Proponer modificaciones en caso de que existan propuestas muy parecidas
8. *Diseño (II): Refinamiento del modelo O-O.* A partir de la propuesta y los comentarios acerca de la misma deberá refinarse el modelo del robot O-O previamente obtenido. El resultado de este refinamiento se incluirá en un documento, denominado modelo ampliado del robot O-O.
9. *Implementación física:* A partir del modelo ampliado O-O se deberá proceder a la implementación física del robot (hardware + software). El resultado de esta fase será un prototipo de robot así como los esquemas electrónicos perteneciente al hardware del robot y el código en C correspondiente a la parte software del robot.
10. *Prueba (I): Elección de los experimentos.* Previa a la experimentación del prototipo deberán elaborarse los experimentos a realizar. Estos deberán no sólo comprobar el correcto funcionamiento del robot sino determinar mediante las medidas que se crean necesarias las limitaciones del mismo, así como la cuantificación de los parámetros relevantes asociados.
11. *Prueba (II): Evaluación del prototipo.* Con el prototipo implementado se procederá a llevar a cabo los experimentos desarrollados. Esta fase puede servir de retroalimentación a las fases anteriores puesto que se pueden detectar y corregir anomalías en la solución implementada y/o en los experimentos propuestos. El resultado final de este proceso iterativo entre esta fase y las anteriormente citadas será un robot acompañado de los todos los documentos anteriores (corregidos, en caso de que fuera necesario).
12. *Prueba (III): Recomendaciones finales.* Cada grupo deberá elaborar una serie de recomendaciones finales (trabajo futuro, discusión acerca de las limitaciones del sistema, etc.).

#### 4. CONCLUSIONES

El aprendizaje colaborativo promueve que los estudiantes trabajen en pequeños grupos para que desarrollen una solución a un problema o tema propuesto. Un tipo especial de aprendizaje colaborativo es el que se produce en la enseñanza por proyectos orientados a problemas en el que los alumnos afrontan problemas teórico/prácticos que van más allá de sus competencias actuales y que se resuelven a partir de la supervisión de su trabajo y clases de apoyo realizadas por el profesorado. Existen dos clases de trabajo por proyectos: el orientado al diseño en el que los alumnos aprenden a saber cómo y el orientado a resolver un problema en el que se centran en explorar y trabajar un problema práctico con una solución básicamente desconocida. Nuestro trabajo ha planteado una aproximación al aprendizaje basado en proyectos que integra tanto el diseño como la resolución de problemas, aplicándolo en el campo de los robots basados en el comportamiento.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] D. Boud and G. Feletti, *The Challenge of Problem-based Learning*, Second Edition. London: Kogan Page Ltd., 1997.
- [2] K. Bosworth and S.J. Hamilton (Eds.), *Collaborative Learning*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers, 1994.
- [3] G. Brown, J. Bull and M. Pendlebury, *Assessing Student Learning in Higher Education*, London: Routledge, 1997, pp. 98-119.
- [4] D.W. Johnson, R.T. Johnson and K.A. Smith, *Active Learning: Cooperation in the College Classroom*. Edina, MN: Interaction Book Company, 1998.
- [5] D.W. Johnson, R.T. Johnson and E. Johnson Holubec, *Circles of Learning: Cooperation in the Classroom*, Fifth Edition. Edina, MN: Interaction Book Company, 2002.
- [6] S. Kagan, *Cooperative Learning*. San Clemente, CA: Resources for Teachers, 1994.
- [7] K. Manktelow, *Reasoning and Thinking*. UK: Psychology Press, 2001.
- [8] H.W. Marsh and L.A. Roche. (1994, Jun.). "The Use of Students' Evaluations of University Teaching To Improve Teaching Effectiveness." [On-line]. Available: <http://fistserv.macarthur.uws.edu.au/seeq/CELT/>
- [9] S.I. Robertson, *Problem Solving*. UK: Psychology Press, 2001.
- [10] SEEQ Supplementary Rating Items of Laboratory Work in Science. [On-line]. Available: <http://cea.curtin.edu/seeq/index.html>
- [11] A. B. Van Gundy, Jr., *Techniques of Structured Problem Solving*, Second Edition. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1988.
- [12] A. L. Wilkes, *Knowledge in Minds: Individual and Collective Processes in Cognition*. UK: Psychology Press, 1997.
- [13] R.C. Arkin, *Behavior-based Robotics*, Cambridge, MA: MIT Press, 1998.