

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PROYECTOS: CÉLULA DE FABRICACIÓN COMO LABORATORIO DOCENTE

Ramiro Diez

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid
Av. Universidad, 30, 28911 Leganés (Madrid), ramiro.diez@uc3m.es

Resumen

Este artículo presenta la aplicación de los métodos de aprendizaje basados en proyectos y en problemas a la puesta en marcha de una célula de fabricación flexible. El objetivo es simular el funcionamiento de una factoría automatizada en un escenario realista: los alumnos de deben configurar y programar un conjunto de equipos para que realicen una tarea determinada como, por ejemplo, la fabricación de una serie de piezas. Se trata de un proyecto multidisciplinar en el que deben manejar equipos diferentes como robots industriales, autómatas programables, equipos informáticos, etc. El trabajo se divide entre grupos reducidos de 2 a 4 personas y cada grupo de alumnos se encarga de la configuración y programación de uno o varios de los equipos que forman parte de la célula para, finalmente, integrar todos los equipos en una red industrial o bus de campo de manera que funcionen de manera síncrona y realicen la tarea deseada. Con este método de trabajo se involucra a los alumnos en proyectos complejos y del mundo real a través de los cuales desarrollan habilidades y aplican los conocimientos adquiridos en otras asignaturas.

Palabras Clave: Aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en problemas, automatización, integración, bus de campo.

1 INTRODUCCIÓN

En el método tradicional de enseñanza, el profesor expone en clase la materia que quiere impartir, siendo el alumno, principalmente, un sujeto pasivo receptor de información que apenas interviene en la clase. Con este método, primero se presenta la información y posteriormente se aplica para resolver los problemas. El trabajo de los alumnos en la mayoría de los casos es individual, limitándose a imitar los pasos seguidos por el profesor en la resolución de problemas.

Otros métodos de enseñanza, como el aprendizaje basado en proyectos o el aprendizaje basado en problemas [1], comienzan con la presentación del

problema y a partir de ahí la búsqueda de una solución que no tiene porque ser única. Para ello hay que identificar que se necesita para resolver el problema, buscar la información y finalmente aplicar esta información en la resolución del problema. En este caso el papel del alumno es activo, ya que es el alumno quien decide que necesita y quien busca la información. El papel del profesor o tutor consiste en orientar y guiar a los alumnos para que no se aparten de los objetivos del aprendizaje. Otra diferencia es que el trabajo se realiza en grupo y además de aprender a trabajar en equipo, desarrollan habilidades de trabajo en grupo, reparto de responsabilidades, negociación, cooperación, etc.

En este artículo se presenta una aplicación de estos últimos métodos a la puesta en marcha de un conjunto de equipos industriales. El proyecto consiste en la puesta en marcha de una célula de fabricación de piezas mecanizadas y está centrado en temas relacionados con la automatización: control de equipos, comunicaciones industriales, etc. El entorno de trabajo, los equipos utilizados y el papel desempeñado por el profesor simulan un escenario realista. No se trata sólo de aprender conocimientos nuevos, sino que además deben aplicar los conocimientos adquiridos en otras asignaturas relacionadas con la automática ya cursadas.

El problema a resolver o proyecto a realizar consiste en la configuración y programación de una serie de equipos para que realicen una tarea determinada de manera coordinada. Se trata de un proyecto complejo en el que se utiliza material y equipos diferentes, por lo que se reparte el trabajo de manera que cada grupo de alumnos se encargue de la configuración y programación de una parte de la célula. No hay que olvidar que deben trabajar conjuntamente y que deben coordinarse entre los distintos grupos, ya que el objetivo final es que todo funcione a la vez.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se ha mencionado en la introducción, el trabajo a realizar por los alumnos consiste en poner en marcha un conjunto de equipos que forman una célula de fabricación. Poner en marcha una célula de

fabricación resulta un proyecto complejo en el que hay que manejar muchos equipos diferentes y es difícil de abordar en una única asignatura. Esta asignatura se imparte en los últimos cursos de la carrera por lo que no tienen que aprender muchos conceptos nuevos, sino que tienen que aplicar los conocimientos ya adquiridos. Además, se ha dividido el proyecto global en otros más sencillos consistentes cada uno de ellos en la configuración y programación de un equipo. Sin embargo, no hay que olvidar que el objetivo final es la integración de todos los equipos para que funcione de manera coordinada.

En el enunciado de los problemas/proyectos se plantean como objetivos unos requisitos mínimos de funcionamiento o tareas que deben realizar los equipos (condición necesaria para superar la asignatura). Se deja abierta la posibilidad de introducir cualquier mejora que estimen los alumnos (la mayoría lo hace). En la siguiente sección se describe brevemente la célula de fabricación y los equipos que la componen.

2.1 LA CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE

Las sesiones prácticas se desarrollan en un laboratorio dotado de un conjunto de equipos industriales: máquinas de control numérico, un sistema de transporte de bandejas, robots industriales, un conjunto de autómatas programables, ordenadores personales, una red de comunicaciones, etc. La figura 1 muestra una fotografía del laboratorio. El objetivo es integrar los niveles inferiores de la pirámide de automatización utilizando un bus de campo para las comunicaciones, según puede verse en la figura 2.



Figura 1: Laboratorio

Al ser un sistema flexible, existe la posibilidad de añadir equipos nuevos, no utilizar alguno de los que están en funcionamiento actualmente para una tarea concreta o modificar las tareas a realizar con cada equipo. Las tareas o proyectos en los que se ha dividido la configuración y programación de la célula son los siguientes:

- Instalación, configuración y puesta en servicio una red Profibus-DP (periferia distribuida) [4] formada por un PC que actúa como maestro y un conjunto de autómatas programables que actúan como esclavos. El trabajo de los alumnos consiste en configurar los diferentes equipos que componen la red Profibus-DP y programarlos para que realicen la tarea asignada a cada uno.
- Integración de un robot industrial [2] en la red conectándolo mediante un autómata. Las tareas a realizar en este proyecto son: conectar un el robot industrial y un autómata programable empleando entradas/salidas digitales; configurar y programar el robot para que se comunique con el autómata de modo que reciba las instrucciones sobre la tarea a realizar y envíe información sobre las acciones llevadas a cabo; configurar y programar el autómata para que se comunique con el robot y sincronice su funcionamiento con el resto de la célula.

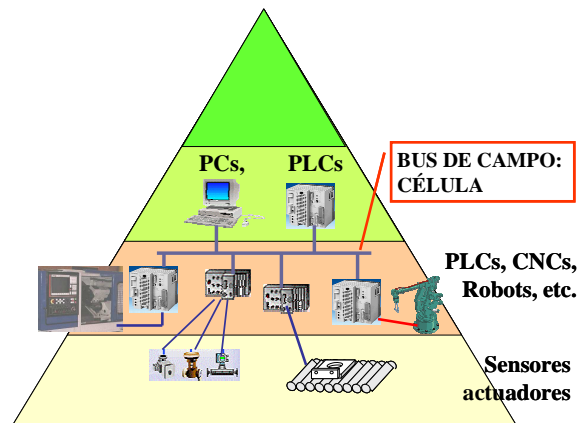


Figura 2: La célula de fabricación en la pirámide de automatización

- Conexión de un sistema de transporte de bandejas a un autómata. Se trata de conectar una cinta transportadora a un autómata programable empleando entradas/salidas digitales. Además, hay que configurar y programar el autómata para que controle el sistema de transporte de bandejas y sincronice su funcionamiento con el resto de equipos.
- Configuración y programación de un regulador PID. Hay que configurar el regulador PID integrado dentro del autómata programable para que, utilizando las entradas y salidas analógicas, controle una maqueta que simule el comportamiento de un horno (control de temperatura) o una maqueta de elementos neumáticos (control de la presión en un depósito).
- Integración de una máquina de control numérico en la red. Se conecta el autómata interno de la máquina de control numérico con el autómata externo que tiene conexión Profibus-DP mediante

entradas/salidas digitales. Utilizando estas señales se sincroniza el funcionamiento del equipo. Además, hay que modificar el programa del PLC del control numérico para que se comuniquen con el autómatas externo y configurar y programar este autómatas para integrarlo en la red.

- Control y supervisión de la célula desde un ordenador. Utilizando un ordenador personal hay que visualizar los datos procedentes de los diferentes equipos y transmitir instrucciones como por ejemplo comandos con las tareas a realizar. Para llevar a cabo este trabajo hay dos alternativas: la primera consiste en emplear un paquete SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [3] comercial con el cual controlar la célula. La segunda alternativa es realizar un programa en C/C++ utilizando una biblioteca de funciones Profibus-DP para construir una aplicación que realice el control y la supervisión. Este programa actuará como maestro de la red y será el encargado de sincronizar los equipos.

2.2 OBJETIVOS

Al finalizar el curso, los alumnos deben haber puesto en marcha todos los equipos; éste es el principal objetivo en cuanto a resultados experimentales que se espera. Pero detrás de este objetivo están los objetivos de aprendizaje; la puesta en marcha de la célula es un proyecto que sirve para que los alumnos adquieran nuevos conocimientos y desarrollen habilidades para que los apliquen, junto a los conocimientos y habilidades adquiridas en otras asignaturas, al desarrollo de proyectos reales. A continuación se detallan los objetivos de aprendizaje.

En primer lugar, se pretende simular un ambiente industrial real en el que los alumnos han de enfrentarse a un problema con equipos industriales como los que se pueden encontrar en una fábrica. La idea que se transmite a los alumnos es que se les ha “contratado” para realizar un trabajo y tienen que enfrentarse a un problema real con obstáculos y complejidades y a lo impredecible.

En segundo lugar, están las técnicas de trabajo. El método propuesto consiste en una combinación de los métodos de aprendizaje basados en proyectos y en problemas. Tienen que trabajar en equipo, distribuirse las tareas a realizar y coordinarse con otros grupos para que todo funcione de una manera sincronizada. Para conseguir este objetivo, tienen que desarrollar habilidades relacionadas con el trabajo en grupo y la negociación y deben buscar los recursos necesarios para resolver el problema.

En tercer lugar están los conocimientos que tienen que adquirir o afianzar relacionados con la automatización. Entre ellos cabe destacar los

siguientes: estudio de las redes industriales en general y su aplicación a la automatización de procesos; estudio de los sistemas de eventos discretos y su control utilizando autómatas programables; programación secuencial de autómatas utilizando técnicas vistas en otras asignaturas; estudio de sistemas continuos y su control mediante el empleo de reguladores; aplicaciones de los sistemas SCADA; aplicaciones de la informática industrial al control de procesos.

3 METODOLOGÍA

Se trata de un proyecto complejo de larga duración que se desarrollará a lo largo de un cuatrimestre. Durante este tiempo hay asignada una sesión semanal de dos horas a la que asisten todos los alumnos con la presencia del profesor, a celebrar en el laboratorio. Además, se establece un horario adicional en el que los alumnos tienen a su disposición el laboratorio para realizar pruebas; en este horario se encarga del laboratorio un becario que no tiene por que ser un experto en el tema. En cualquier momento pueden concertar una reunión con el tutor para aclarar dudas o encaminar el trabajo.

El curso comienza con una primera sesión realizada en un aula de clase en la que el profesor o tutor realiza una presentación de la asignatura: contenido de la asignatura, temario, organización, métodos de trabajo, criterios de evaluación, etc. A partir de la segunda sesión las clases se desarrollan en el laboratorio.

En la segunda sesión se explican con más detalle los trabajos a realizar, mostrando los equipos que componen la célula y describiendo la tarea que tienen que realizar. Asimismo se dan las normas básicas de seguridad para trabajar con cada equipo. En esta sesión también se forman los grupos de trabajo, de entre 2 y 4 alumnos, se entrega la documentación necesaria para cada trabajo y se muestra a cada equipo el material con el que tienen que trabajar. El número de alumnos que integran cada equipo es reducido, habitualmente 3 personas, aunque en las técnicas basadas en proyectos y problemas se suele trabajar con grupos más numerosos (de 6 a 10 integrantes). Esto es así porque el espacio disponible para trabajar con cada equipo no aconseja grupos mayores; además se han adaptado las exigencias de cada proyecto a grupos de este tamaño.

En las siguientes sesiones, los alumnos comienzan a estudiar la documentación aportada y a buscar más datos para intentar resolver el problema. Al principio el papel del profesor es más activo ya que es cuando más dudas surgen en cuanto al método de trabajo y los objetivos a cumplir. A medida que avanza el curso se va reduciendo paulatinamente la

participación del tutor en la solución del problema. En esta fase, el tutor formula preguntas a cada alumno y a cada grupo para comprobar que han comprendido el trabajo que tienen que realizar y que avanzan en la dirección correcta.

Finalmente, se ha reservado la última sesión para una presentación y defensa pública del trabajo realizado. Esta sesión se realiza en el laboratorio, donde cada grupo realiza una pequeña demostración durante 10-15 minutos del trabajo realizado ante toda la clase. Todos los presentes, alumnos y profesores, pueden realizar preguntas para resolver dudas o comprobar que realmente han comprendido el trabajo realizado.

3.1 MATERIAL DOCENTE

Al comenzar el curso, se proporciona una documentación básica con la cual los alumnos pueden empezar a trabajar. Durante el curso pueden utilizar otros recursos de información como la biblioteca, medios electrónicos, profesores, otros compañeros, etc. La documentación básica está formada por guiones de prácticas y manuales técnicos.

Los guiones de prácticas son unos documentos que contienen una información mínima para que empiecen a trabajar. En ellos se incluye el enunciado del problema con los requisitos mínimos de funcionamiento, algunas instrucciones básicas sobre el manejo y funcionamiento del equipo, normas básicas de seguridad y otras fuentes de información que puedan resultar de utilidad.

También se proporcionan los manuales técnicos y de usuario de los distintos equipos, bien en papel, bien en formato electrónico. Además pueden utilizar otros recursos de información como consultas en Internet o a los fabricantes de los equipos.

3.2 LA FUNCIÓN DEL PROFESOR

El papel del profesor o tutor cambia respecto a la enseñanza tradicional: el tutor no expone sus conocimientos, no es una fuente de información. Sus funciones son la orientación de los alumnos para que realicen la tarea asignada y la supervisión en el desarrollo del trabajo para que alcancen los objetivos de aprendizaje.

La tarea del profesor comienza antes de la clase con la preparación de todo el material necesario, por un lado está la preparación y revisión de los equipos y el material, para comprobar que el funcionamiento es el adecuado para la docencia y que con ellos se pueden realizar las tareas previstas y por otro la redacción de la documentación que se entregará a los alumnos. En cierta medida, este trabajo previo es una simulación

llevada a cabo por el profesor del trabajo que deberán realizar los alumnos, ya que se realizan los mismos trabajos con el mismo método: planteamiento del problema, búsqueda de información, análisis de datos y resolución del problema. Este trabajo sirve como entrenamiento para orientar a los alumnos en las clases y para conocer las indicaciones que hay que transmitir a los diferentes grupos.

Durante el curso, el profesor no debe mostrarse como un experto en la materia, su función no es resolver los problemas, sino guiar y orientar a los alumnos, de ahí que la apariencia que debe representar es la de una persona que no domina el tema. Las consultas realizadas al profesor no se responden directamente, ya que el profesor “no conoce la respuesta” puesto que no es un experto. Debe comportarse como si fuera un alumno más y mostrar el camino que debe seguir el alumno para resolverlo o formular alguna pregunta al alumno para que piense como resolver el problema y reoriente la búsqueda de información. La mejor forma de mostrar como resolver el problema es plantear una pregunta que haga pensar en una posible solución o, por ejemplo, acudir a un manual, buscar la información y mostrar a los estudiantes que los datos que necesitan están disponibles, es decir, evitar la picaresca de la solución fácil, si me lo dice el profesor no tengo que buscarlo.

El seguimiento de los trabajos se realiza reuniéndose con cada grupo y pidiendo que muestren los avances logrados. Para completar el seguimiento se realizan preguntas a los miembros del grupo para que expliquen cómo lo han resuelto o por qué no han utilizado otra alternativa, de manera que hagan una evaluación crítica de su trabajo y aprendan a razonar y a justificar las decisiones tomadas. Este método también se emplea en la presentación del último día para que sean todos los alumnos y no sólo un grupo en concreto, quienes analicen la solución propuesta.

Finalmente, toda la experiencia acumulada a lo largo del cuatrimestre, las aportaciones de los alumnos, los comentarios, los problemas surgidos, etc. Se utilizan para hacer un análisis del curso y estudiar los fallos, proponer las mejoras o cambios necesarios que se pueden introducir para impartir la asignatura en años siguientes.

4 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA POR PARTE DE LOS ALUMNOS

En esta sección se presenta un estudio sobre las diferentes etapas por las que pasan los alumnos en su camino para resolver el problema. Cada grupo avanza a un ritmo diferente, no sólo dentro de un mismo curso académico, sino que también se observan diferencias a la hora de realizar el mismo trabajo por grupos de alumnos de años diferentes. En

proyectos de larga duración el avance de los distintos equipos no es uniforme, por lo que aquí se presenta un resumen con la evolución típica que han seguido la mayoría de los grupos de trabajo.

Para la mayoría de los estudiantes este método de trabajo resulta novedoso, por lo que se requiere un periodo de adaptación. Es la primera vez que se enfrentan a un trabajo de grupo de estas dimensiones. A lo largo del cuatrimestre los alumnos pasan por diferentes fases similares a las descritas en los estudios basados en el método de aprendizaje basado en problemas. A continuación se describen las etapas por las que pasan los estudiantes según avanzan en el desarrollo del proyecto.

4.1 PRIMERA ETAPA: DESCONFIANZA

Con el inicio de un nuevo proyecto siempre surgen temores a que algo no salga bien, lo que provoca reticencias a la hora de ser el primero del grupo en tomar la iniciativa. Como no están familiarizados con estas técnicas de trabajo en grupo, presentan cierta desconfianza hacia el método y se resisten a comenzar el trabajo. En las fases iniciales, el proyecto se afronta intentando imitar situaciones conocidas, es decir, aplicando los métodos de resolución de problemas tal y como lo han estado haciendo anteriormente. En este sentido, en el inicio se sientan a leer la documentación individualmente esperando que alguien (el tutor u otro compañero) les diga que hay que hacer o empiece el trabajo.

En esta etapa encuentran dificultades para entender el problema planteado y no distinguen los objetivos que tienen que alcanzar. Es por ello que muestran una cierta resistencia a comenzar el trabajo y es en esta etapa donde es más necesaria la motivación por parte del tutor.

4.2 SEGUNDA ETAPA: ANSIEDAD

En una segunda etapa, los miembros de cada grupo comienzan a estudiar la documentación y a recopilar información. Sin embargo, se desesperan por la abundancia de material obtenido y porque creen que van demasiado despacio; en general piensan que el esfuerzo realizado no se ve reflejado en los resultados obtenidos. En estos momentos se encuentran perdidos y no saben como avanzar.

El trabajo del tutor en esta etapa consiste en motivar a los alumnos y hacerles ver que su trabajo si va a dar los frutos esperados, pero no inmediatamente, sino a medio plazo. Hay que explicarles que el trabajo dura un cuatrimestre y que no tienen que resolver todo en una sesión. En estos momentos es bueno guiarles para que se planteen objetivos más sencillos de manera que obtengan resultados parciales a corto

plazo y a partir de estos resultados preliminares continúen el trabajo hasta completarlo.

Una forma de conseguir que avancen es proponerles que simplifiquen el problema, que traten de resolver algo más sencillo, es decir, comenzar por definir una tarea sencilla para un equipo concreto que puede ser la implementación de una parte de la tarea a realizar. Deben comenzar con un proyecto simplificado para que entiendan mejor el funcionamiento del equipo y de las técnicas de trabajo, vean resultados aunque no sean los definitivos y se motiven para mejorarlo y completarlo. El trabajo final se obtendrá al introducir modificaciones y al añadir funciones al proyecto preliminar hasta conseguir que realice la tarea deseada.

4.3 TERCERA ETAPA: COMENZAR A PRODUCIR

Una vez superada la etapa anterior, comienzan a verse los primeros resultados. Aunque los primeros logros no cumplen los objetivos previstos, es un primer paso y los alumnos observan como el trabajo realizado produce unos resultados y empiezan a tomar conciencia de que pueden lograrlo. A partir de aquí el trabajo progresa cada vez más deprisa ya que a medida que avanza el curso aumenta su dominio sobre las herramientas y técnicas de trabajo.

En esta etapa, el principal obstáculo o la mayor dificultad que encuentran son pequeños problemas o fallos de los equipos que surgen por estar tratando con material industrial real y no con maquetas preparadas. La solución de estos problemas, en muchas ocasiones no se encuentra en los libros, de modo que la experiencia es el mejor aliado para solventar la situación. En estos casos es importante la experiencia del tutor para que pueda guiar a los alumnos a superar situaciones imprevistas. Esta situación muestra problemas reales que se pueden presentar en un trabajo y prepara a los alumnos para enfrentarse a situaciones inesperadas.

4.4 CUARTA ETAPA: SEGURIDAD Y AUTOSUFICIENCIA

A medida que avanza la resolución del problema el dominio de las técnicas de trabajo y de las herramientas a utilizar es cada vez mayor. Las modificaciones y soluciones incluidas se realizan rápidamente, llegando a cubrir los objetivos mínimos marcados inicialmente dentro de esta etapa en la mayoría de los casos. Como ven que funciona y que las modificaciones les supone un esfuerzo relativamente pequeño, comienzan a proponer e introducir mejoras al funcionamiento mínimo exigido.

En esta fase se reduce la intervención del tutor, que se limita a supervisar el proceso y la evolución en el trabajo. Las preguntas que tiene que responder no van encaminadas a resolver un problema concreto, sino a dar el visto bueno a las mejoras introducidas o a sugerir otras posibles y animarles a continuar con el trabajo.

4.5 QUINTA ETAPA: DOMINIO

En esta etapa final, han alcanzado un gran dominio del tema, de las herramientas y de las técnicas de trabajo de modo que las soluciones se producen rápidamente. Se comparten experiencias con otros equipos, se establece una coordinación entre diferentes grupos y se pone en marcha todo el conjunto. En esta fase son capaces de trabajar sin la presencia del tutor.

5 EVALUACIÓN

El método de trabajo empleado obliga a utilizar un sistema de evaluación que tenga en cuenta el trabajo y el esfuerzo realizado durante el curso. No se puede emplear el examen como criterio para evaluar. Para realizar una evaluación lo más completa posible hay que tener en cuenta distintos aspectos. En primer lugar hay que valorar como han trabajado a lo largo del curso, como han llegado a los objetivos fijados. Para ello ha y que realizar un seguimiento a lo largo del curso de la evolución del trabajo, lo que constituye una de las tareas más importantes y difíciles que ha de realizar el profesor. Para ello, además de comprobar los avances en el trabajo, se realizan preguntas a los alumnos que permitan discernir al tutor si los alumnos han comprendido lo que tenían que hacer.

Este seguimiento, junto con el informe final en el que presentan los resultados obtenidos y como han llegado a ellos es la parte que más influye en la calificación final. En la tabla 1 se resume el peso de cada actividad en la nota final.

Tabla 1: Evaluación de los trabajos.

Actividad	Nota
Trabajo + informe	70%
Presentación	10%
Test final	20%

Para completar la evaluación se tienen en cuenta otras pruebas. Al finalizar el trabajo tienen que realizar una demostración del funcionamiento de los equipos y exponer públicamente los resultados. Una pequeña parte de la nota final depende de cómo realicen esta presentación: exposición clara de objetivos y resultados, capacidad para responder a las preguntas, etc. Finalmente, se completa la nota con el resultado de un pequeño examen final que consiste

en responder a unas breves cuestiones en un tiempo de no más de 15 minutos.

6 CONCLUSIONES

Después de impartir esta asignatura durante varios años, cabe destacar el alto grado de participación de los alumnos, sobre todo a medida que avanza el curso, y la satisfacción que obtienen al lograr por sí mismos poner en marcha un conjunto de equipos, con una intervención mínima del tutor. Obtienen una valoración muy positiva de su trabajo ya que han comprobado que son capaces de resolver problemas reales y que están preparados para afrontar cualquier reto.

El trabajo propuesto imita un entorno real, lo que enseña a los alumnos las técnicas para enfrentarse a problemas y situaciones reales. Surgen dificultades en la puesta en marcha de los equipos, igual que ocurriría en una fábrica, por lo cual tienen que aprender a superar cualquier imprevisto. Ante una duda, en este caso, no sirve acudir a una tutoría a que la resuelva el profesor; deben enfrentarse al problema y estudiar posibles soluciones.

No sólo tienen que realizar el trabajo, sino que también tiene que defenderlo públicamente ante el resto de compañeros y los profesores que lo evaluarán. Tienen que convencer a la audiencia que han realizado el trabajo que se les pide y que lo han hecho bien. Se potencian las capacidades de comunicación y negociación.

El trabajo se realiza en grupo, por lo que aprenden a distribuirse tareas, a contrastar ideas y a coordinarse entre distintos equipos. También tienen que responsabilizarse y comprometerse con la tarea a realizar, ya que si alguien no colabora puede entorpecer o incluso detener el avance de sus compañeros.

Esta técnica de trabajo conlleva una mayor responsabilidad de los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Se estimula al alumno para que desarrolle un conjunto de técnicas y habilidades: sea él quien resuelva, defina sus propias tareas, se muestre comunicativo, trabaje en grupo, se enfrente a obstáculos, complejidades y a lo impredecible, busque recursos y resuelva problemas y tome la iniciativa.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer la colaboración de Vicente Fernández en la puesta en marcha del laboratorio, ya que sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible. También quiero agradecer el trabajo y el interés mostrado por los alumnos que han pasado por esta

asignatura, por sus comentarios y por la ilusión y el esfuerzo puesto en la realización del trabajo y por satisfacción mostrada al concluir el trabajo exitosamente que han constituido los momentos más gratificantes en estos años de docencia.

Referencias

- [1] Albanese, M.A., Mitchell, S., (1993) "Problem-based learning: a review of literature on its outcomes and implementations issues", *Academic Medicine*, 68,1, 52-81
- [2] Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., Aracil, R., (1997) *Fundamentos de Robótica*, McGraw-Hill.
- [3] Colomer, J., Meléndez, J., Ayza, J., (2000) *Sistemas de supervisión*, Cuadernos CEA-IFAC
- [4] Semper, V., Silvestre, J., Mataix, J., Fuertes, J.M., (2002) *PROFIBUS. Un bus de campo industrial*, Cuadernos CEA-IFAC