

EVALUACIÓN OBJETIVA DE COMPETENCIAS

ÁLVARO SÁNCHEZ MIRALLES¹

RESUMEN: Aunque hacer una evaluación objetiva en el sentido estricto es muy complicado, aún lo es más cuando se trata de competencias. En este artículo se propone un método para evaluar competencias que pretende ser lo más objetivo posible. En concreto se evalúa la capacidad de trabajo en equipo, la iniciativa, la creatividad, la autonomía, la sistematización y la sinceridad. Se muestra cómo el método propuesto es robusto ante un posible intento de aprendizaje, por parte del alumno, de la forma de evaluar. Además se describen las experiencias con este tipo de evaluación aplicado a una asignatura de la titulación de Ingeniería Industrial en ICAI (Comillas).

PALABRAS CLAVE: Evaluación, Competencias, Robótica móvil, Aprendizaje cooperativo.

ABSTRACT: Objective assessment is very difficult to achieve, even more if it deals with competencies. In this paper a new method for competencies assessment is proposed. It tries to be as objective as possible. More specifically, the paper deals with the ability to work on interdisciplinary teams, personal initiative, creative skills, personal autonomy, systematization and honesty competency. It also shows that the proposed method is robust against an intention to be learnt by students. The paper also describes some experiences with proposed evaluation method in one mechatronic course of the Industrial Engineering at ICAI (Comillas).

KEYWORDS: Assessment, Competencies, Mobile robotics, Cooperative learning.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación es una de las tareas más importantes en la docencia, ya que el alumno va a estudiar en función de cómo se le evalúe «dime qué evalúas y te diré lo que los alumnos aprenden», como se demuestran Skouler (1998), Birenbaum (1997) y Tang (1994). Esto significa que aquello que no se evalúa, se devalúa en el sentido en que deja de ser estudiado, lo que convierte en fundamental diseñar una correcta evaluación como parte esencial de un programa de aprendizaje de una asignatura, que en muchas ocasiones debe incluso orientar la manera de impartir las clases.

¹ Profesor del Departamento de Electrónica y Automática e Investigador del Instituto de Investigación Tecnológica de ICAI. alvaro@dea.icaui.upcomillas.es

El cambio de paradigma educacional que se está llevando a cabo, del paradigma basado en la enseñanza del profesor, al basado en el aprendizaje del alumno (*From teaching to learning*, Barr y Tagg, 1995), supone adoptar métodos de evaluación más adecuados para que realmente haya una auténtica evaluación. Sin embargo, es útil revisar los métodos de evaluación tradicionales para detectar cuáles son dependientes del tipo de paradigma y cuales son universales. En general, es evidente que la mayor parte de las técnicas de evaluación tradicional se deben mantener o solamente modificar. Uno de los aspectos que ha provocado el cambio de paradigma es que los estudiantes no acaban la carrera con un perfil adecuado para las empresas, debido a que en el paradigma tradicional el curriculum se basa fundamentalmente en haber acumulado un conjunto de créditos y no tanto en haber demostrado un conjunto de competencias profesionales.

En los últimos años ha habido una tendencia a asociar competencias profesionales con la capacidad competitiva de las empresas y países. Entre otros, el economista de Harvard Reisch² hacía hincapié en el impacto económico de las competencias que tienen que ver con el pensamiento abstracto y la creatividad. Esta tendencia se ha cristalizado en las agencias de acreditación de programas de universidades, o a través de publicaciones de asociaciones profesionales. Desde el punto de vista de la ingeniería, existen la Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingeniería en Europa, y en Estados Unidos la ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). De los diferentes artículos enfocados a la evaluación en el nuevo paradigma presentados a la ABET 2002³, se puede concluir que la nueva manera de evaluar resultados se está desarrollando, pero no ha madurado lo suficiente. Esta situación no es sorprendente, ya que los resultados esperados esenciales en el futuro profesional de un estudiante se basan fundamentalmente en competencias, que no se pueden evaluar usando métodos estándar. Por ejemplo, la capacidad de trabajar en equipo requiere una evaluación que no se puede basar en un examen. El desarrollo de competencias requiere un aprendizaje acumulado de trabajo, cursos, experiencia práctica y la superposición de conocimientos que provienen de muchas áreas.

Por ello, actualmente se está haciendo un gran esfuerzo para considerar de algún modo las habilidades del alumno en su evaluación⁴, dando lugar a

² REICH, R. B.: *The Work of Nations*, New York, Vintage Books, 1992.

³ ABET, 2002, 2nd National Conference on Outcomes Assessment for Program Improvement, Pittsburgh.

⁴ Como muestran los siguientes autores:

DODRIDGE, M.: *Learning outcomes and their assessment in higher education*, Engineering Science and Education Journal, Aug., 1999, 8 (4): 161-168.

MATTHEW, R. G. S., y HUGHES, D. C.: «Getting at deep learning: a problem-based approach», *Engineering Science and Education Journal*, Oct. 1994, 3 (5): 234-240.

muy diversos métodos, diversidad que se debe fundamentalmente a la componente subjetiva que este tipo de evaluaciones conlleva por parte del profesor. Esta componente es muy habitual en cualquier evaluación, salvo en los exámenes tipo test, ya que se basa en la interpretación más o menos objetiva por parte de un profesor de algo que ha hecho o escrito un alumno. Tratóndose de evaluar competencias, la subjetividad predomina aún más, ya que no son tan demostrables como los conocimientos.

En el caso de las asignaturas de aplicación más práctica es frecuente que predomine el desarrollo de habilidades a la adquisición de conocimientos, como es el caso de las asignaturas de las carreras más técnicas, como por ejemplo las ingenierías, y en concreto la asignatura que trata este artículo, relacionada con el estudio y diseño de robots móviles.

Como se describe en Pack y otros (2004) y Martin y Sagent (1992), y que incluye instituciones como el MIT, el U.S. Navy Air Force, el Trinity College, la universidad sueca KTH, The Pennsylvania State University, The Northeastern University USA, Halmstad University en Suiza..., el diseño de robots móviles promueve el diseño interdisciplinar y el trabajo en equipo, cumpliendo los resultados más importantes que se espera en un ingeniero según la ABET: primero la capacidad de trabajar en equipos multidisciplinares y segundo la capacidad de definir, plantear y resolver problemas reales complicados.

El objetivo del artículo es proponer una forma de evaluar competencias de la manera más objetiva posible y describir las experiencias obtenidas en esta labor durante el año 2004-2005 en una asignatura de desarrollo de robots móviles. Es cierto que no existe ningún método de evaluación totalmente objetivo, y que lo que más se aproxima son las denominadas pruebas objetivas o pruebas de tipo test. A pesar de ello, en este artículo se habla de evaluación objetiva ya que se usan métodos objetivos para evaluar al alumno.

Para poder validar los resultados obtenidos se preguntó a los alumnos qué nota esperaban en la asignatura, con el objetivo de poder compararla con la nota obtenida, como se explica en la sección 5. En ningún caso se usó esa nota para estimar la nota definitiva del alumno. Por otro lado, para determinar las impresiones de los alumnos ante el nuevo sistema de evaluación, se les propuso un cuestionario anónimo donde describían sus opiniones, que se irán comentando a lo largo de este artículo.

McGettrick, A.; MAY, R., y WARD, R.: «Principles underlying the development of competencies for engineers», *Computing & Control Engineering Journal*, Feb. 2000, 11 (1): 40-43.

2. ASIGNATURA

2.1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

La docencia en ingeniería que se basa en aplicaciones de robótica móvil se está extendiendo por un gran número de universidades en todo el mundo. Esto se debe a que la robótica se puede usar como una herramienta educativa para integrar conocimientos de estudiantes avanzados, una herramienta de motivación para los alumnos recién entrados, y una herramienta que permite desarrollar las principales competencias deseadas en un ingeniero.

Son muchos los artículos que destacan el papel tan importante que desempeña el desarrollo de robots móviles en el aprendizaje de un estudiante. En resumen, estos artículos destacan que esta disciplina:

- Despierta la motivación en el alumno. En Badrul (2004) se comenta que la actitud de interés por el aprendizaje se crea cuando un estudiante siente curiosidad y motivación. En Pack y otros (2004) se hace un estudio de cuáles son las causas que hacen que esta disciplina motive a los alumnos, y se concluye que a los alumnos les motiva en primer lugar el tema, el conocimiento práctico y la posibilidad de aplicar sus ideas, y en segundo lugar, el trato del robot como un juego, la posibilidad de demostrar sus habilidades profesionales y la ambición.
- Permite el aprendizaje cooperativo en equipos de trabajo, desarrollando la capacidad de trabajar en equipo, tan destacada por la ABET⁵.
- Promueve el diseño interdisciplinar, ya que es una materia en la que se requieren competencias específicas de muchas disciplinas: fundamentalmente mecánica, electrónica, control, electrotecnia e informática.
- Desarrolla la capacidad de definir, plantear y resolver problemas reales complicados. Estas capacidades son muy importantes para un ingeniero profesional, según señala la ABET.

La asignatura en la que se basan las experiencias de este artículo se llama «Sistemas electrónicos para robots móviles»⁶, y es una asignatura que comprende 60 horas, distribuidas en cuatro horas semanales. El número de alum-

⁵ ABET, 2002, 2nd National Conference on Outcomes Assessment for Program Improvement, Pittsburgh.

⁶ Sistemas electrónicos para robots móviles: <http://www.iit.upcomillas.es/~alvaro/teaching/clases/robots/robots.html>

nos de la asignatura es de un máximo de 40, límite impuesto por los recursos disponibles. La asignatura se divide en dos partes, una de trabajo de laboratorio y otra de trabajo en el aula. En cada laboratorio pueden ir hasta un máximo de 20 alumnos. Los alumnos se dividen en grupos de cuatro personas para llevar a cabo los objetivos de la asignatura. En Russell y Pimmel (2003) se muestra que cuatro personas es el número adecuado para formar un equipo en este tipo de asignaturas. Para la asignación de grupos en Russell y Pimmel (2003) y en Felder y Brent (1994) se hacen las siguientes recomendaciones: que sean heterogéneos en el nivel de capacidad, evitar grupos con alguna minoría (por ejemplo sólo con una mujer), selección de los grupos por parte del profesor, asignar roles a cada miembro, hacer que los grupos se autoevalúen, ofrecer ideas para que el grupo funcione de forma efectiva y exigir al grupo un producto final. En Hilborn (1994) se sugiere que la heterogeneidad del grupo debe ser en la personalidad. Además para que los grupos se comporten como verdaderos equipos es necesario que haya⁷:

- Interdependencia positiva: el objetivo se consigue si todos realizan su trabajo y si se produce un fallo de un miembro de un equipo el resto lo sufre.
- Contabilidad individual: cada uno es responsable de hacer su trabajo y de entender el de los demás.
- Interacción promotora cara a cara: parte del trabajo tiene que hacerse de forma interactiva donde los miembros del equipo se pregunten, se realimenten y se instruyan.
- Uso de la habilidad de trabajo en equipo: los miembros necesitan habilidades de liderazgo, comunicación, resolución de conflictos y gestión del tiempo.
- Autoevaluación periódica del equipo: los equipos se deben evaluar para determinar qué están haciendo bien y qué necesita ser mejorado.

El objetivo fundamental de la asignatura es entrenar al alumno en el montaje e integración de sistemas reales y con recursos limitados, aplicado a la construcción de un robot móvil, trabajando en un equipo multidisciplinar de personas. A lo largo de la misma el alumno aprende los diferentes aspectos teóricos y prácticos para construir un robot. Al final de la asignatura cada equipo deberá desarrollar un robot móvil que lleve a cabo una tarea específica. Para ello, se le proporciona a cada grupo de alumnos un maletín con gran variedad de piezas LEGO, con las que tiene que montar la estructura del robot diseñada, cables, sensores y actuadores integrados en LEGO, tarjetas electrónicas, un miniordenador personal tipo PDA, una fuente de alimentación y varios portabaterías.

⁷ Tal y como sugieren: FELDER Y BRENT (1994; 1999) y FELDER Y OTROS (2000).

Aunque LEGO tenga una connotación de juguete, cabe destacar su importancia en la docencia. En la tesis de Fred Martin del MIT⁸ se describe la utilidad del LEGO y del desarrollo de robots móviles como herramientas para enseñar ingeniería. En Pack y otros (2004) se comenta la necesidad de usar LEGO en los diseños de robots para disminuir el tiempo de desarrollo de los mismos. Son muchísimas las universidades que ya usan LEGO en sus laboratorios de robótica⁹.

2.2. EVALUACIÓN

En la asignatura se evalúan los aspectos descritos en la Tabla 1, donde se muestra el detalle de la evaluación, que se explica al alumno al principio de la asignatura, para que conozca desde el principio «las reglas del juego». La nota máxima que puede tener un alumno es un 10'5, para poder distinguir entre los alumnos que se merecen un diez de los que se merecen Matrícula de Honor (10'5). La tabla consta de cuatro columnas. La primera es la descripción del concepto a evaluar, que se divide en cuatro bloques. La segunda es la nota máxima que un alumno puede sacar en cada concepto dentro de cada bloque, que es calificado sobre diez, salvo el primer bloque que se califica sobre once. La tercera es la nota máxima que el alumno puede sacar en cada concepto respecto de la nota global. Finalmente la cuarta columna indica si cada concepto se evalúa de forma individual (IND), de forma grupal (GRUPO) o es una mezcla de las dos (IND/GRUPO). A continuación se detalla cada bloque de la tabla:

- Proyecto de robot: consiste en el desarrollo de un robot móvil por cada grupo de alumnos. Se considera trabajo de laboratorio y es el 50% de la nota final. No sólo se evalúa el trabajo realizado (5'5 puntos de la nota

⁸ MARTIN, F.: «Ideal and real systems: A study of notions of control in undergraduates who design robots», *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World* (YASMIN KAFAI and MITCHEL RESNICK, eds.), Lawrence Erlbaum, 1996.

⁹ Entre otras se pueden citar las que presentan: PACK Y OTROS (2004), MARTIN (1994). Y Case-Western Reserve University's Egg Hunt LEGO design course: <http://www.eecs.cwru.edu/courses/lego375>

Franklyn Turbak, Robbie Berg, Wellesley College Robotic design studio course. A multidisciplinary approach to learning by designing, building and inventing: <http://www.wellesley.edu/Physics/robots/studio.html>

A Robot Laboratory for Teaching Artificial Intelligence: <http://mainline.brynmawr.edu/Robots/ResourceKit>

The Centre for Computer Systems Architecture at Halmstad University in Sweden Mechatronics and Education: <http://www2.hh.se/staff/bjorn/robotcomp.html>

del montaje, que son 1'75 puntos de la nota global), sino también la calidad del mismo (3'5 puntos de la nota del montaje, que son 1'75 puntos de la nota global) y su complejidad (dos puntos de la nota del montaje, que es un punto de la nota global). Tanto la calidad de los resultados, como la complejidad del problema son notas grupales, ya que la consecución de las mismas son llevadas a cabo por todo el grupo. Para poder individualizar la nota, se considera que un alumno aporta tanto a la calidad del robot como a la complejidad, una cantidad proporcional al grado de cumplimiento del trabajo individual. Por ejemplo, si la calidad de los resultados es tres, la complejidad es dos, y el alumno tiene una nota de dos puntos en el cumplimiento de su trabajo, la nota final es: $3 \cdot 2 / 5'5 + 2 \cdot 2 / 5'5 + 2 = 3'81$ puntos sobre un máximo de 11. En la sección 4 se explica cómo se evalúa el cumplimiento del trabajo individual.

- Competencias: se valora la capacidad de trabajo en equipo (el 35% de la nota de competencias, que son 0'7 puntos de la nota global), la iniciativa y creatividad, la honestidad, la sistematización, la autonomía, y la capacidad de hablar en público. En la sección 3 se describe cómo se evalúan cada una de las competencias.
- Prácticas: resultados prácticos obtenidos en laboratorio. En el laboratorio, los alumnos llevan a cabo experimentos con sensores, actuadores y diversas herramientas para montar un robot. En concreto se evalúan los trabajos realizados con los sensores y actuadores, y los de montaje de estructuras con LEGO.
- Teoría: conocimientos necesarios para montar un robot. Son fundamentalmente aspectos teóricos. No se evalúan en un examen sino que la evaluación es continua y de diferentes maneras:
 - Se evalúa la calidad de la propuesta de robot que van a hacer. A lo largo de la asignatura, cada grupo de alumnos tiene que planificar cómo va a llevar a cabo el robot, indicando los recursos que van a utilizar, la distribución de las tareas entre los miembros del grupo y un cronograma de actividades. Esta actividad es clave para que los grupos de alumnos funcionen como equipos de trabajo eficientes, como indican Russell y Pimmel (2003).
 - Presentaciones en público. En este punto se tienen en cuenta las presentaciones como trabajo en grupo y no como competencia de cada persona que presenta.
 - Pequeñas pruebas teóricas que se realizan para asegurarse de que el alumno realmente tiene los conocimientos mínimos necesarios para poder construir un robot sin que corra riesgo el material del laboratorio. Es muy importante realizar estas pruebas para que los alumnos vayan al laboratorio con la asignatura preparada.

Cualquiera que sea la evaluación debe ser descrita al alumno desde el principio de la asignatura, para que pueda estudiar y orientar su trabajo a aprobar la asignatura.

TABLA 1

<i>Concepto a evaluar</i>	<i>Nota local</i>	<i>Nota global</i>	<i>Categoría</i>
PROYECTO DE ROBOT (LAB) 50%			
• Calidad de los resultados	3,5	1,75	Grupo/Ind.
• Cumplimiento de tareas y trabajo realizado ($0 < n < 5.5$)	5,5	2,75	Ind.
• Complejidad del problema	2	1	Grupo/Ind.
COMPETENCIAS (LAB & T) 20%			
• Trabajo en grupo	3,5	0,7	Grupo/Ind.
• Iniciativa y creatividad	2	0,4	Ind.
• Honestidad	0,5	0,1	Ind.
• Sistematización	2,5	0,5	Ind.
• Autonomía	1	0,2	Ind.
• Hablar en público	0,5	0,1	Ind.
PRÁCTICAS (LAB) 10%			
• Informe análisis sensorial	5,	0,5	Grupo
• Informe de montaje con LEGO	5	0,5	Grupo
TEORÍA (T) 20%			
• Calidad de la propuesta	3	0,6	Grupo
• Presentaciones	3	0,6	Grupo
• Pequeñas pruebas de control	4	0,8	Ind.
		10,5	

La sección 3 se centra en la evaluación de las competencias, lo que se considera una aportación original.

2.3. CONTENIDOS DEL PROGRAMA

Dado que al alumno se le exigen ciertas competencias, es necesario que se le forme para que las pueda desarrollar y, por ello, el programa de la asignatura incluye la formación y desarrollo de estas competencias. Presentamos a continuación los contenidos que permiten desarrollarlas:

1. Sensores más utilizados en la robótica móvil.
2. Actuadores más utilizados en la robótica móvil.

3. Programación de robots.
4. Aspectos prácticos de montaje con LEGO.
5. Planificación de un proyecto para la construcción de un robot.
6. Desarrollo de competencias para el trabajo en equipo.
7. ¿Cómo se hacen presentaciones en público?
8. Arquitecturas de robots móviles.
9. Gestión de la energía de un robot.

3. EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS

En la literatura se define una competencia como la capacidad de realizar de forma efectiva una tarea específica. Es decir, las competencias son consideradas, desde esta perspectiva, como un aspecto relativo al rendimiento profesional. Las competencias profesionales son resultado de una mezcla de conocimientos, experiencia práctica y trato personal como la responsabilidad, la ética, el respeto, etc.

Tienen las siguientes características:

1. Las competencias se pueden dividir en dos grupos. Competencias generales, que se relacionan habitualmente con relaciones interpersonales, como el trabajo en equipo. Competencias específicas, que tienen que ver con áreas concretas de trabajo, como la detección de fallos en un software.
2. Las competencias se pueden definir siguiendo un continuo que va desde la concepción más general hasta la más específica.
3. Cualquier competencia se puede partir en varias que se pueden evaluar por separado.
4. Normalmente, cuanto más general es una competencia su evaluación entraña un mayor nivel de dificultad. Sin embargo, cuanto más específica, más fácil es su evaluación. Por ello el reto es definir competencias de manera que sean a la vez relevantes y evaluables.

Como se comenta en la sección 1, se están haciendo muchos esfuerzos por evaluar competencias. Existen trabajos orientados a evaluar alguna competencia muy concreta en la docencia, por ejemplo en Letelier, Herrera y otros (2003) se propone un método para evaluar la capacidad de hablar en público y en Russell y Pimmel (2003) se propone un método para evaluar la capacidad de trabajo en equipo. Desde otro punto de vista, en Harzallah y otros (2006) se propone un modelo para evaluar competencias para los departamentos de recursos humanos de empresas. En general, son muchas las referencias que indican que se deben tener en cuenta las competencias en la eva-

luación, pero son escasas las referencias que proponen un método concreto para evaluar competencias de forma explícita. El problema se acentúa más en caso de que se busque un método poco subjetivo o se trate de competencias como, la honestidad, la autonomía, la iniciativa...

A continuación y en las siguientes subsecciones se explica el método propuesto en este artículo para evaluar de forma lo más objetiva posible cada una de las competencias siguientes: la autonomía, iniciativa, creatividad, sistematización, capacidad de hablar en público, capacidad de trabajo en equipo y la honestidad.

Del cuestionario anónimo realizado se desprende que al 50% de los alumnos les gusta que les evalúen las competencias (lo que no quiere decir que al resto les disguste), al 0% le gusta que sólo se les evalúe conocimientos y el 100% de los alumnos prefiere el método de evaluación de la asignatura descrito en este artículo, frente al más tradicional basado en exámenes. De hecho las opiniones más generalizadas (hasta el 60%) respecto de la evaluación propuesta es que el alumno no siente la presión de ser evaluado a pesar de estar siéndolo de forma continua a lo largo del todo el desarrollo de la asignatura.

El método propuesto para la evaluación de las competencias consta de tres fases:

1. Autoevaluación del alumno. El penúltimo día de clase se reparte un cuestionario (se describe a continuación), que el alumno tiene que responder y le sirve de autoevaluación. En este cuestionario se advierte al alumno que debe ser sincero ya que la sinceridad forma parte de la evaluación. Del cuestionario anónimo realizado se desprende que al 14% de los alumnos no les gusta ser autoevaluados.
2. Evaluación de los compañeros de grupo a cada miembro del mismo. Al día siguiente a la autoevaluación, se reparte a cada miembro de grupo tantos cuestionarios como compañeros tenga en su grupo. Cada uno de estos cuestionarios se encuentra personalizado según a la persona que se evalúe, en función de lo que haya respondido el día de la autoevaluación. Por ejemplo, si los grupos son de cuatro personas cada persona responderá tres cuestionarios diferentes para evaluar a sus compañeros. Del cuestionario anónimo realizado se desprende que al 6% de los alumnos no les gusta que les evalúen sus compañeros.
3. Corrección de los cuestionarios y obtención de la nota. Una vez que se tienen todos los cuestionarios rellenos, se procede a su análisis. Algunas de las cuestiones se pueden corregir de forma automática (en este caso se han usado unas macros implantadas en Excel) y otras cuestiones deben ser corregidas de forma manual.

Se informa al alumno que las respuestas a los cuestionarios de evaluación son absolutamente confidenciales, y se les recuerda que la sinceridad forma parte de la evaluación.

En las siguientes subsecciones se explica en detalle la evaluación de cada una de las competencias de la asignatura siguiendo las fases de evaluación que se acaban de describir.

3.1. EVALUACIÓN DE LA AUTONOMÍA

La autonomía es una de las competencias más deseadas en las empresas y a la hora de realizar cualquier sistema, ya que permite ahorrar de forma significativa esfuerzos para conseguir los objetivos de forma eficiente. El hecho de que un miembro de un equipo no sea capaz de llevar a cabo las tareas que se le encomiendan por sí mismo, propicia una pérdida de tiempo en otros miembros del equipo que redundan en una menor eficiencia. La evaluación se hace como sigue:

1. Autoevaluación: para conocer la independencia del alumno en la realización de sus tareas se le pregunta:
¿Has necesitado ayuda del grupo para desempeñar alguna de tus tareas encomendadas? ¿En cuáles?
2. Evaluación de grupo: a cada miembro del grupo se le pregunta:
¿Ha sido capaz de realizar las tareas que le correspondían sin tu ayuda? En caso contrario: ¿Cuáles?
3. Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma automática en función de las respuestas a la primera pregunta de cada cuestionario que admite como respuestas Sí/No. La segunda pregunta sirve para la evaluación de la sinceridad y debe ser corregida de forma manual ya que hay que analizar con detalle posibles contradicciones entre lo que dice la autoevaluación y cada evaluación de los miembros del grupo.

$$Auto = \frac{nA + nB}{alumnos} \cdot 10$$

donde:

- *Auto*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la autonomía.
- *nA* = 1 si la respuesta en la autoevaluación es No y 0 en caso contrario.
- *nB* = número de respuestas Sí de la evaluación del grupo.
- *alumnos* = número de alumnos del grupo.

3.2. EVALUACIÓN DE LA INICIATIVA Y CREATIVIDAD

A la hora de montar e integrar sistemas con recursos limitados, la iniciativa y la creatividad son factores claves para conseguir el éxito. La evaluación se hace como sigue:

1. Autoevaluación: se realiza la siguiente pregunta al alumno:
¿Qué ideas has aportado al proyecto, aunque hayan fracasado o no se hayan aplicado? (indicar si han fracasado o no se han aplicado)
2. Evaluación de grupo: a cada miembro del grupo se le hace la siguiente pregunta con múltiples posibles respuestas:
¿Qué ideas ha aportado al proyecto, aunque hayan fracasado o no se hayan aplicado? (indicar si han fracasado o no se han aplicado)

Entre las posibles respuestas se encuentran las ideas que había puesto el alumno en su autoevaluación y otras repuestas «trampa» adicionales que habían puesto otros compañeros del grupo o que al profesor se le puedan ocurrir. Gracias a estas últimas respuestas «trampa» se puede determinar fácilmente el grado de sinceridad de cada alumno, ya que el profesor sabe con anterioridad la veracidad de ciertas respuestas. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de cuestionario para un grupo de alumnos que hicieron un robot con una catapulta.

3	¿Qué ideas ha aportado al proyecto, aunque hayan fracasado o no se hayan aplicado? (indicar si han fracasado o no se han aplicado)	
		Propuso la división de la prog. en estados de acción: busca blanco, gira, dispara
		Propuso la introducción de variables booleanas para los estados (no aplicó)
		Propuso la distribución de los elementos electrónicos en el robot (PDA,sens,TCS)
		Propuso mejoras en el sistema de la catapulta

FIGURA 1

3. Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma manual.

$$I_{nic} = \frac{n_{Ideas}}{m_{ac}} \cdot 10$$

donde:

- *I_{nic}*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la iniciativa y creatividad.
- *n_{Ideas}*: es el número de ideas que ha aportado el alumno y no han sido descalificadas por otro miembro del grupo.

- *max* = es el número máximo de ideas aportadas. En esta asignatura, coincide con el número de ideas del alumno más creativo de cada grupo; es decir, se asigna un porcentaje de creatividad a cada alumno de grupo.

3.3. EVALUACIÓN DE LA SISTEMATIZACIÓN

La evaluación de la sistematización es muy importante en esta asignatura, ya que los alumnos tienen que cuidar y gestionar lo mejor posible los recursos del laboratorio, para que perduren en años sucesivos. Una mala organización del material puede llevar a descuidar piezas y a perder recursos. Además dada la gran cantidad de sistemas que hay que integrar en la asignatura, cualquier integración errónea de los mismos puede provocar que alguno se estropee. Por ello, los alumnos deben aplicar el método explicado en clase y ser sistemáticos en la organización y gestión de sus recursos. Para garantizar que esto sea así, la sistematización también se evalúa, lo que como se ha demostrado ha sido una pieza clave en el éxito de la gestión de recursos en el laboratorio por parte del alumnado.

1. Autoevaluación: no hay.
2. Evaluación de grupo: en la Figura 2 se muestran las tres cuestiones que se plantean a cada miembro del grupo y sólo admiten una respuesta. Las cuestiones tienen que ver con la gestión de los recursos del laboratorio.

12	¿Ha sido ordenado con el maletín?
<input type="checkbox"/>	Sí, es muy sistemático con el mismo
<input type="checkbox"/>	Sí, pero descuida las piezas
<input type="checkbox"/>	Es un poco desastre
<input type="checkbox"/>	No
13	¿Trata bien las cosas?
<input type="checkbox"/>	Sí
<input type="checkbox"/>	No
14	¿Es un manazas?
<input type="checkbox"/>	Sí
<input type="checkbox"/>	No

FIGURA 2

3. Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma automática en función de las respuestas a las tres preguntas de cada cuestionario.

$$Sist = \frac{nA}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3} + \frac{nB}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3} + \frac{nC}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3}$$

donde:

- *Sist* = es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la autonomía.
- *nA* = número de primeras respuestas de la cuestión primera.
- *nB* = número de respuestas Sí de la segunda cuestión.
- *nC* = número de respuestas No de la tercera cuestión.
- *alumnos* = número de alumnos del grupo.

3.4. CAPACIDAD DE HABLAR EN PÚBLICO

Se evalúa a los alumnos en dos exposiciones orales y públicas siguiendo el método explicado en el curso del ICE de la Universidad Pontificia Comillas¹⁰, y que también se utiliza para evaluar las exposiciones públicas de los alumnos a lo largo de su proyecto fin de carrera. Se basa en evaluar tanto la forma y el contenido de la presentación, como la respuesta a las preguntas después de la misma, respondiendo a un cuestionario plantilla.

En Letelier y Herrera (2003) se muestra un método para evaluar la habilidad de expresar conceptos generales de una profesión de manera lógica, técnica e idiomáticamente correcta. Se propone un test que se divide en tres partes:

1. Cinco cuestiones para evaluar la capacidad de explicar conceptos técnicos: técnica, lógica e idiomáticamente.
2. Cuatro cuestiones para evaluar la capacidad de persuasión y negociación: conceptual e idiomáticamente.
3. Una pregunta para la identificación de conflictos éticos: conceptual e idiomáticamente.

3.4. SINCERIDAD

La sinceridad es una pieza clave en el sistema de evaluación ya que, aunque es muy fácil detectar e invalidar respuestas no sinceras de los alumnos, una respuesta no sincera no aporta información, lo que perjudica al sistema de evaluación. Por ello, la sinceridad se introduce directamente como criterio adicional a evaluar.

¹⁰ MORALES, PEDRO: *Evaluación de los aprendizajes en la Universidad*, Curso del ICE, Comillas.

La evaluación de esta competencia no tiene un cuestionario específico, sino que se aprovechan las cuestiones que evalúan otras competencias para estimar la sinceridad del alumno. Para poder detectar una falta de sinceridad de un alumno de forma lo más fiable posible, se buscan situaciones que cumplan los siguientes criterios:

1. Se tienen en cuenta sólo los cuestionarios del mismo grupo de alumnos. Por ejemplo, en el caso de que el grupo sea de cuatro alumnos, existen 16 cuestionarios para ser analizados.
2. Se buscan respuestas en las que la mayoría de los alumnos tengan una opinión homogénea y contradigan a la respuesta de otro alumno, siempre y cuando éste no sea apoyado por el resto de alumnos. Por ejemplo, en un grupo de cuatro personas se buscan respuestas de dos alumnos contra uno, siempre y cuando el otro no le apoye.
3. Se introducen respuestas trampa que el profesor conoce *a priori*.
4. Se tiene en cuenta la experiencia del profesor en las sesiones de laboratorio, donde el profesor y los alumnos conviven de forma muy cercana. Sólo se deben tener en cuenta situaciones muy claras, que no estén sujetas a ningún tipo de ambigüedad. Por ejemplo, si existe un alumno en el laboratorio que claramente y de forma reiterada está molestando a su grupo, el profesor espera respuestas por parte del resto de los miembros del grupo coherentes con la actitud del alumno que molesta.
5. Corrección:

$$Sinc = 10 \cdot \left(1 - \frac{nA}{3}\right)$$

donde:

- *Sinc*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la sinceridad. Si la nota sale negativa se satura en 0.
- *nA* = número de situaciones en las que el alumno no ha sido honesto.

3.6. EVALUACIÓN DEL TRABAJO EN EQUIPO

La evaluación del trabajo en equipo es una pieza fundamental en el aprendizaje cooperativo, como se describe en Felder, Brent y Russel. El aprendizaje cooperativo requiere convertir la asignación de grupos, en verdaderos equipos de trabajo. El trabajo cooperativo reporta: mayor persistencia para obtener buena nota, mejor pensamiento analítico, creativo y crítico, un entendimiento profundo del material y mayor motivación.

En Russell y Pimmel (2003) los equipos rellenan un formulario donde se muestra en porcentaje el esfuerzo de cada miembro que contribuye a la obten-

ción del resultado global. No solo sirve para saber lo que ha hecho alguien sino para determinar la efectividad del equipo.

En este artículo, para evaluar esta competencia se analiza la capacidad personal de cada alumno de trabajar en equipo, la cohesión del equipo y el interés de cada alumno en el trabajo que le toca realizar dentro del grupo. Aunque inicialmente parezca que sólo es necesario evaluar la capacidad de trabajo en equipo del alumno, es muy importante detectar la cohesión del equipo para fomentar el trabajo en equipo de todos sus miembros intentando evitar en gran medida el rechazo mutuo.

3.6.1. Cohesión del equipo

Se evalúa de la siguiente manera:

1. Autoevaluación: en la Figura 3 se muestran las cuatro cuestiones que se plantean a cada miembro del grupo y sólo admiten una respuesta.
2. Evaluación de grupo: no hay.

1	¿Te has sentido rechazado en algún momento por los miembros de grupo?
<input type="checkbox"/>	Muchas veces
<input type="checkbox"/>	Rara vez
<input type="checkbox"/>	Nunca
2	¿Estás conforme con las tareas que te ha tocado desempeñar en el grupo, o crees que el reparto de tareas ha sido injusto?
<input type="checkbox"/>	Ha sido justo, pero me ha tocado hacer algo que no me entusiasmaba.
<input type="checkbox"/>	Ha sido justo, y me ha tocado hacer algo que me gustaba
<input type="checkbox"/>	Ha sido injusto
3	¿Has sentido alguna vez que tus ideas no eran tenidas en cuenta en el grupo?
<input type="checkbox"/>	Muchas veces
<input type="checkbox"/>	Rara vez
<input type="checkbox"/>	Nunca
4	¿Había un grupito de amiguetes que imponían sus normas en el grupo?
<input type="checkbox"/>	Sí
<input type="checkbox"/>	No
8	¿Has quedado con el grupo fuera de clase?
<input type="checkbox"/>	Sí
<input type="checkbox"/>	No

FIGURA 3

3. Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma automática en función de las respuestas a las tres preguntas de cada cuestionario.

$$\text{GrupC} = \frac{nA}{\text{alumnos}} \cdot 10$$

donde:

- *GrupC*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la autonomía.
- *nA* = número de cuestionarios en las que las respuestas a la primera cuestión sea «Nunca» a la segunda cuestión sea «Ha sido justo» a la tercera cuestión sea «Nunca», la cuarta cuestión sea «No» y la quinta cuestión sea «Sí».
- *alumnos* = número de alumnos del grupo

3.6.2. Capacidad para trabajar en equipo

La evaluación se hace como sigue:

1. Autoevaluación: no hay.
2. Evaluación de grupo: en la Figura 4 se muestran el conjunto de cuestiones planteadas a los miembros del grupo.

1	¿Te has sentido rechazado por él?	
	<input type="checkbox"/>	Muchas veces
	<input type="checkbox"/>	Rara vez
	<input type="checkbox"/>	Nunca
4	¿Sabe resolver los problemas de forma dialogada?	
	<input type="checkbox"/>	Sí
	<input type="checkbox"/>	No
7	¿Ha actuado alguna vez de forma dictatorial?	
	<input type="checkbox"/>	Sí
	<input type="checkbox"/>	No
8	Si volviéses a tener que hacer un robot, ¿volverías a contar con él? ¿Por qué?	
	<input type="checkbox"/>	Sí
	<input type="checkbox"/>	No
9	¿Se enfada con facilidad en los debates?	
	<input type="checkbox"/>	Sí
	<input type="checkbox"/>	No

FIGURA 4

- Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma automática en función de las respuestas a las cinco preguntas de cada cuestionario.

$$GrupR = \frac{nA}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{5} + \frac{nB}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{5} + \frac{nC}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{5} + \frac{nD}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{5} + \frac{nE}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{5}$$

donde:

- *GrupR*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación de la grupal.
- *nA* = número de respuestas «Nunca» en la cuestión primera.
- *nB* = número de respuestas Sí de la segunda cuestión.
- *nC* = número de respuestas No de la tercera cuestión.
- *nD* = número de respuestas Sí de la cuarta cuestión.
- *nE* = número de respuestas No de la quinta cuestión.
- *alumnos* = número de alumnos del grupo.

3.6.3. Interés

- Autoevaluación: en la Figura 5 se muestra la cuestión que responde cada miembro del grupo.

2	¿Estás conforme con las tareas que te ha tocado desempeñar en el grupo, o crees que el reparto de tareas ha sido injusto?
<input type="checkbox"/>	Ha sido justo, pero me ha tocado hacer algo que no me entusiasmaba.
<input type="checkbox"/>	Ha sido justo, y me ha tocado hacer algo que me gustaba
<input type="checkbox"/>	Ha sido injusto

FIGURA 5

- Evaluación de grupo: en la Figura 6 se muestran el conjunto de cuestiones planteadas a los miembros del grupo respecto del miembro que se evalúa.

5	¿Ha mostrado interés en el proyecto?
	<input type="checkbox"/> Sí
	<input type="checkbox"/> No
6	¿Distrae a los compañeros?
	<input type="checkbox"/> Sí
	<input type="checkbox"/> No
10	¿Ha asistido a las reuniones que el grupo ha tenido fuera de clase?
	<input type="checkbox"/> Siempre
	<input type="checkbox"/> A veces
	<input type="checkbox"/> Nunca

FIGURA 6

3. Corrección: la corrección de esta competencia se hace de forma automática en función de las respuestas a las preguntas de cada cuestionario.

$$GrupI = \frac{nB}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3} + \frac{nC}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3} + \frac{nD}{(alumnos - 1)} \cdot \frac{10}{3} \text{ si } nA = 1$$

$$GrupI = \frac{GrupR + GrupC}{2} \text{ si } nA = 0$$

donde:

- *GrupI*: es la nota de 0 a 10 en la evaluación del interés en el trabajo.
- *nA* = 1 si la respuesta a la cuestión de autoevaluación es la segunda respuesta, en caso contrario es 0.
- *nB* = número de respuestas Sí de la primera cuestión.
- *nC* = número de respuestas No de la segunda cuestión.
- *nD* = número de respuestas «Siempre» o «A veces» de la tercera.
- *alumnos* = número de alumnos del grupo.

4. EVALUACIÓN DEL ROBOT REALIZADO

La evaluación del robot se hace como sigue:

1. Autoevaluación: se solicita al alumno la siguiente información:
Enumera de forma detallada aquellas tareas completas que has llevado a cabo en el robot. Si una tarea ha sido llevada a cabo por varias

personas es necesario dividirla en subtareas que sean completas para cada persona.

2. Evaluación de grupo: a cada miembro del grupo se le solicita la siguiente información:

Enumera de forma detallada aquellas tareas completas que ha llevado a cabo en el robot. Si una tarea ha sido llevada a cabo por varias personas es necesario dividirla en subtareas que sean completas para cada persona.

Entre las posibles respuestas se encuentran las ideas que había puesto el alumno en su autoevaluación y otras repuestas «trampa» adicionales que habían puesto otros compañeros del grupo o que al profesor se le puedan ocurrir. Gracias a estas últimas respuestas «trampa» se puede determinar fácilmente el grado de sinceridad de cada alumno, ya que el profesor sabe con anterioridad la veracidad de ciertas respuestas. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de cuestionario para un grupo de alumnos que hicieron un robot con una catapulta.

11	Enumera de forma detallada aquellas tareas completas que ha llevado a cabo en el robot. Si una tarea ha sido llevada a cabo por varias personas es necesario dividirla en subtareas que sean completas para cada persona.
	Corrección de la programación lineal
	Programación del modelo espacial
	Implementación de la catapulta
	Ensamblaje del servo
	Alineación de ruedas
	Ensamblaje de sensores, PDA y TCS
	Revisión del sistema mecánico: motor y dirección
	Construyó la tracción del robot

FIGURA 7

3. Presentación con demostración incluida del robot resultante final.
4. Obtención de la nota del proyecto. Como se comentó en la sección 2.2 la evaluación del proyecto depende de la calidad de los resultados, la complejidad del proyecto y de la cantidad de trabajo desarrollada por cada alumno.

$$Pr_{oy} = tareas \cdot \left(1 + \frac{calidad + complejidad}{5.5} \right)$$

donde:

- *Proy*: es la nota de 0 a 10 correspondiente a la evaluación del robot realizado.
- *tareas*: es la nota de 0 a 5'5 de la cantidad de trabajo llevada a cabo por cada miembro del grupo. La obtención de esta nota se lleva a cabo gracias al cuestionario de autoevaluación y de evaluación del grupo.
- *calidad*: es la nota de 0 a 3'5 de la calidad de los resultados del proyecto. La obtención de esta nota se determina en función de la demostración final.
- *complejidad*: es la nota de 0 a 2 de la complejidad del proyecto. La obtención de esta nota se determina en función de la demostración final.

5. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para validar el método de evaluación, en cada cuestionario de autoevaluación el alumno debe escribir la nota que se espera, y en cada cuestionario grupal cada alumno indica si se espera más nota que el compañero al que estaba evaluando, lo que permite establecer un ranking de alumnos y, por tanto, de notas dentro del grupo. Todo ello permite estimar las notas de los alumnos.

Cualquier intento de aprender a responder los cuestionarios por parte de los alumnos es muy complicado, ya que las cuestiones propuestas se encuentran interrelacionadas en la doble evaluación que se obtiene con la autoevaluación y la evaluación grupal. En efecto, es fácil de comprender que:

1. Si un alumno intenta beneficiar a sus compañeros, sin lugar a dudas se perjudica a sí mismo.
2. Si un alumno intenta beneficiarse, enseguida es detectado por falta de sinceridad, ya que el resto de alumnos no lo suelen admitir por ir en su propio perjuicio, contradiciendo el punto 1.

6. CONCLUSIONES

Después de haber analizado el método de evaluación y la experiencia adquirida se pueden concluir los siguientes puntos:

- Se ha conseguido desarrollar, implantar y probar un método de evaluación de competencias que utiliza técnicas con un alto nivel de objetividad para su consecución.

- El método de evaluación propuesto puede y debe ser presentado al alumno al principio del curso, sin que eso suponga perjuicio alguno a la calidad del mismo.
- Los alumnos parece que realmente responden lo que piensan. En cierta medida esto se debe a que la sinceridad es una competencia que se evalúa.
- Existe una gran coincidencia entre las notas que prevén los alumnos y las que se obtienen con el método de evaluación usado.
- Los alumnos fueron muy sistemáticos. Sin lugar a dudas es una de las competencias más complicadas de llevar a cabo en la asignatura, ya que los alumnos tenían muchos recursos que gestionar y era muy fácil ser descuidado. Esto se debe en gran parte al hecho de que la sistematización es otra de las competencias evaluadas.
- Del cuestionario anónimo se desprende que lo que más ha sorprendido al alumno son los resultados prácticos obtenidos (el robot), la forma de aprender y la motivación.

A continuación se enumeran inconvenientes detectados en el método de evaluación y posibles mejoras:

- A pesar de que se obliga a los miembros de un equipo a planificar las tareas que debe hacer cada miembro de forma que no haya dos alumnos haciendo lo mismo, existen casos en los que dos alumnos tienden a realizar sus tareas juntos. Esto perjudica la evaluación, ya que es difícil determinar qué es lo que ha hecho un alumno y qué es lo que ha hecho otro.
- Sería conveniente introducir una cuestión más en la evaluación que pregunte al alumno qué porcentaje del trabajo realizado ha llevado a cabo cada miembro del grupo, como se hace en Russell y Pimmel (2003). De alguna forma esta pregunta permitiría atenuar el efecto negativo descrito en el punto anterior.
- Es necesario evitar que haya alumnos «diplomáticos», que a veces no responden a las respuestas que se dan como opción en cada cuestionario, sino que añaden sus propias respuestas para no quedar a mal con ninguno de sus compañeros, a pesar de que el cuestionario es confidencial. Aunque sucede pocas veces, sería conveniente evitarlo ya que la evaluación del grupo hecha por esos alumnos, no aporta información y, por tanto, desvirtúa las notas.

7. AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer la colaboración a D. Pedro Morales Vallejo y a D. Ignacio Gonzalo Misol por el asesoramiento aportado, y a D. José Villar Collado, D. Fidel Fernández Bernal y D. José Porras Galán por las ideas aportadas en la mejora del artículo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLGREN, D., y VERNER I. (2002): «Analysis of team learning experiences and educational outcomes in robotics», *American Society Engineering Education Annu. Conf.* Montreal, QC, Canada.
- (2002): «An international view of robotics as an educational medium», *Proc. Int. Conf. Engineering Education*, Manchester, U.K.
- (2002): «Fire-fighting robot contest: Interdisciplinary design curricula in college and high school», *Journal of Engineering Education*, 91: 355-360.
- BADRUL H. CHOWDHURY (2004): «Learning to Learn Concepts in a First Power Engineering Course», *IEEE Trans on Power Systems*, 19 (1): 31.
- BARR, R., y TAGG J. (1995): «From teaching to learning: a new paradigm for undergraduate education», *Change Magazine*.
- BIRENBAUM, M. (1997): «Assessment preferences and their relationship to learning strategies and orientations», *Higher Education*, 33 (1): 71-84.
- CRISMAN, J. D. (1996): «System design via small mobile robots», *IEEE Transactions on Education*. 39 (2): 275-280.
- DEVAULT, J. E. (1998): *A competition-motivated, interdisciplinary design experience*, Frontiers Educ. Conf.
- DODRIDGE, M. (1999): «Learning outcomes and their assessment in higher education», *Engineering Science and Education Journal*, 8 (4): 161-168.
- FELDER, R. M.; WOODS, D. R.; STICE, J. E., y RUGARCIA, A. (2000): «The future of engineering education: II Teaching methods that work», *Journal of Chemical Engineering Education*, 24 (1): 26-39.
- FELDER, R. M., y BRENT, R. (1999): «How to improve teaching quality», *Quality Management Journal*, 6 (4): 9-21.
- FELDER, R. M.; FELDER, G. N., y DIETZ, E. J. (1998): «A longitudinal study of engineering student performance and retention. Comparisons with traditionally-taught students», *Journal of Engineering Education*, 87 (4): 469-480.
- FELDER, R. M., y BRENT, R. (1994): *Cooperative learning in technical courses: Procedures, pitfalls and payoffs*, U.S. Dept. of Education, Washington, D.C., ERIC Document Reproduction Service Rep. ED 377038.
- HARZALLAH, M.; BERIO, G., y VERNADAT, F. (2006): «Analysis and Modeling of Individual Competencies: Toward Better Management of Human Resources»,

- IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics*, Part A: Systems and Humans, 36 (1): 187.
- HILBORN, R. B. (1994): «Team learning for engineering students», *IEEE Trans on Education*, 37 (2): 207-211.
- HUNG, J. Y. (1998): *An integrated junior-year laboratory based on an autonomous mobile robot platform*, Frontiers Educ. Conf.
- GREGSON, P. H., y LITTLE, T. A. (1999): «Using contests to teach design to EE juniors», *IEEE Trans. on Education*, 42: 229-232.
- JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T., y SMITH, K. A. (1991): «Cooperative learning: Increasing college faculty instructional productivity», *Higher Education*, 20 (4).
- LETELIER, M. F.; HERRERA, J. E., y OTROS (2003): «Competencies evaluation in engineering programmes», *European Journal of Engineering Education*, 28 (3): 275-286.
- MARTIN, F. (1996): «Ideal and real systems: A study of notions of control in undergraduates who design robots», *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World* (YASMIN KAFAI and MITCHEL RESNICK, eds.), Lawrence Erlbaum.
- (1994): «Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots», *PhD dissertation*, MIT Media Laboratory.
- MARTIN, F., y SARGENT, R. (1992): «Learning engineering through robotic design», in ESTES, N., & THOMAS, M. (Eds.), *Proceedings of the Ninth International Conference on Technology and Education*, pp. 1191-1193.
- MATTHEW, R. G. S., y HUGHES, D. C. (1994): «Getting at deep learning: a problem-based approach», *Engineering Science and Education Journal*, 3 (5): 234-240.
- MCGETTRICK, A.; MAY, R., y WARD, R. (2000): «Principles underlying the development of competencies for engineers», *Computing & Control Engineering Journal*, 11 (1): 40-43.
- PACK, D. J.; AVANZATO, R.; AHLGREN, D. J., y VERNER, I. (2004): «Fire-Fighting Mobile Robotics and Interdisciplinary. Design-Comparative Perspectives», *IEEE Trans on Education*, 47 (3): 369.
- PAULIK, M. J., y MOHAN, K. (2001): «Competition-Motivated Capstone Design Course: The Result of a Fifteen-Year Evolution», *IEEE Trans on Education*, 44 (1): 67.
- PAULIK, M. J., y KRISHNAN, M. (1999): *An autonomous ground vehicle competition-driven capstone design course*, Frontiers Educ. Conf.
- RASHID, M. H. (1991): «Integration of design in electronics courses», en GRAYSON, L. P. (Ed.), *Proceedings of the Frontiers in Education conference*, pp. 63-66.
- REICH, R. B. (1992): *The Work of Nations*, New York, Vintage Books.
- ABET (2002): *2nd National Conference on Outcomes Assessment for Program Improvement*, Pittsburgh.
- RUSSELL, L., y PIMMEL, A (2003): «Practical Approach for Converting Group Assignments Into Team Projects», *IEEE Trans on education*, 46 (2): 273.
- SCOULLER, y KAREN, M. (1998): «The influence of assessment method on students' learning approaches: Multiple choice question examination versus assignment essay», *Higher Education*, 35 (4): 453-472.

TANG, C. (1994): «Effects of Modes of Assessment on Students' Preparation Strategies», en GIBBS, G. (ed.), *Improving Student Learning. Theory and Practice*, Oxford, Oxford Centre for Staff Development.

9. ALGUNOS ENLACES DE INTERÉS

- Sistemas electrónicos para robots móviles:
<http://www.iit.upcomillas.es/~alvaro/teaching/clases/robots/robots.html>
- Case-Western Reserve University's Egg Hunt LEGO design course.
<http://www.eecs.cwru.edu/courses/lego375>
- A Robot Laboratory for Teaching Artificial Intelligence.
<http://mainline.brynmawr.edu/Robots/ResourceKit>
- The Centre for Computer Systems Architecture at Halmstad University in Sweden Mechatronics and Education:
<http://www2.hh.se/staff/bjorn/robotcomp.html>
- Franklyn Turbak, Robbie Berg. wellesley College Robotic design studio course. A multidisciplinary approach to learning by designing, building and inventing:
<http://www.wellesley.edu/Physics/robots/studio.html>

[Aprobado para su publicación en marzo de 2006]