

UNA EXPERIENCIA DE IMPLANTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN LOS GRADOS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aliane Nourdine, Fernández Javier, Diez Ramiro

Dpto. de Informática, Automática y Comunicaciones
Universidad Europea de Madrid
C/Tajo s/n 28670. Villaviciosa de Odón. Madrid
nourdine.aliane@uem.es, web: <http://www.uem.es>

Resumen. *En este trabajo se presenta una experiencia de implantación de la metodología de aprendizaje basado en proyectos en los grados en ingeniería industrial de la UEM. La experiencia descrita en este artículo vincula a dos asignaturas de segundo curso: automatismos y control y teoría de máquinas y mecanismos. Nuestro enfoque consiste en la propuesta de un mismo proyecto para toda la clase, donde los objetivos marcados no se limitan al desarrollo técnico del proyecto, sino a explotar también el contexto de la metodología basada en proyectos para potenciar el desarrollo de determinadas competencias transversales. En este artículo, en primer lugar, se presenta el entorno académico así como los condicionantes para la introducción de la metodología. A continuación se describen los elementos claves para la elección del proyecto así como sus aspectos técnicos más relevantes. Posteriormente, se detallan las principales acciones llevadas a cabo para la puesta en marcha la metodología basada en proyectos. Finalmente se presenta una evaluación cualitativa y cuantitativa de la experiencia.*

Palabras clave: Aprendizaje basado en proyectos, competencias transversales, Educación, Ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN

En el nuevo escenario educativo que resulta del proceso de armonización del Espacio Europeo de Educación Superior, se pone de manifiesto la necesidad de un modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en el alumno y se plantea claramente la necesidad de desarrollar en el alumno, no solamente habilidades específicas del campo de conocimiento en el que están orientados los planes de estudios, sino también las competencias transversales muy demandadas en el mundo profesional. En este contexto, la educación superior se está adaptando a las nuevas circunstancias y está realizando cambios en el paradigma educativo a través de iniciativas de innovación docente basadas en el uso de las metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas McMaster (<http://www.chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm>), el método el caso (Mustoe 1999), o el aprendizaje basado en proyectos (Gwen 2003).

En este artículo se describe una experiencia de implantación de la metodología de aprendizaje basado en proyectos (PBL en adelante) en los grados en ingeniería industrial de la Universidad Europea de Madrid. Esta acción docente se enmarca dentro

de las directrices promovidas por la dirección de la escuela politécnica que recomienda adecuar la enseñanza en todas las titulaciones de la escuela a la metodología de aprendizaje basado en proyectos. La experiencia de implantación de la metodología PBL que en este trabajo se presenta, se ha llevado a cabo en la titulación de grado en ingeniería industrial y vincula a dos asignaturas de segundo curso: automatismos y control, y teoría de máquinas y mecanismos.

El resto del artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se darán las claves de la metodología PBL. La sección 3 describe el entorno docente y el modelo de implantación de la metodología. La sección 4 presenta el proyecto desde la perspectiva técnica así como las razones pedagógicas que avalan su elección. La sección 5 se explican los pasos más importantes en la implantación de la metodología PBL. La sección 6 recoge una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de la experiencia presentada. La sección 7 concluye este trabajo.

2. LA METODOLOGÍA PBL

La metodología PBL se empezó a aplicar a finales de los 70 en la enseñanza de medicina en la Universidad canadiense de McMaster para combatir el problema de desmotivación de los estudiantes. Desde entonces, esta metodología ha ido ganando adeptos y actualmente se considera especialmente adecuada para abordar muchos de los retos de la educación superior (Woods et al, 2000). En este contexto, merece la pena destacar la universidad danesa de Aalborg que se considera un referente en la aplicación de la metodología PBL en el ámbito de las ingenierías Aalborg (<http://www.en.aau.dk>). Su aplicación en el área de las ingenierías llega más tarde, pero ya se considera actualmente como una metodología madura en este ámbito. En la literatura podemos encontrar varias experiencias relacionadas con la implantación de esta metodología en diversos campos de la ingeniería como la informática (Barg et al, 2000, y Hung 2002), la mecatrónica (Piquet et al, 2002), o la robótica (Mingyang 2004, Spong 2006, Aliane 2008), por citar unos cuantos ejemplos.

La metodología PBL se basa en el desarrollo de un proyecto que establece una meta como la elaboración de un producto final. Su consecución exigirá el aprendizaje de conceptos técnicos así como el desarrollo de determinadas competencias y actitudes. La metodología PBL solo estará en sintonía con los objetivos del EEES si el alumno toma un papel activo en su proceso de aprendizaje. Las características más relevantes de la metodología PBL se resumen en lo siguiente:

- La metodología PBL se desarrolla en un entorno real y experimental. Esta circunstancia ayuda a los alumnos a relacionar los contenidos teóricos con el mundo real, y esto conlleva una mejora de la receptividad para aprender los conceptos teóricos.
- El alumno toma un papel activo en el proyecto y marca el ritmo y la profundidad de su propio aprendizaje.
- El PBL motiva a los alumnos, y por tanto, se puede tomar como un instrumento para mejorar el rendimiento académico y la persistencia en los estudios.
- El PBL crea un marco ideal para desarrollar varias competencias transversales como el trabajo en equipo, la planificación, la comunicación y la creatividad.

El éxito de la metodología PBL depende en parte de la conveniencia y la adecuación del proyecto. Un buen proyecto puede propiciar un aprendizaje multidisciplinar y permite al

alumno entrar en una dinámica de aprendizaje autónomo. Es más, el reto que supone para un alumno diseñar y construir un sistema real le permite adquirir los conceptos técnicos con cierta profundidad.

3. ENTORNO DOCENTE Y MODELO DE IMPLANTACIÓN

La experiencia de implantación de la metodología PBL se ha desarrollado en segundo curso en las titulaciones de grado del área de ingeniería industrial y abarca dos asignaturas obligatorias: Automatismos y Control del área de Ingeniería de Sistemas y Automática y Teorías de Máquinas y Mecanismos del área de Ingeniería Mecánica. En la primera, los estudiantes aprenden los fundamentos de los sistemas de control y su funcionamiento, mientras que en la segunda el alumno se prepara para desarrollar los cinemas de velocidades y de aceleraciones de diversos tipos de mecanismos.

Tradicionalmente, los contenidos de las asignaturas antes mencionadas se impartían combinando clases teóricas, sesiones de ejercicios y algunas prácticas de laboratorio. Por otra parte, señalar que ambas materias tienen contenidos cuya asimilación requiere un nivel medio-alto en matemáticas. Esto hace que muchos conceptos fundamentales, tanto en teoría de Automatismos y Control como en Teoría de Máquinas, queden de alguna forma abstractos para la gran mayoría de la clase al no relacionar la teoría con sistemas físicos reales. Esta circunstancia hace que gran parte de los alumnos pierdan la motivación, lo que dificulta el aprendizaje. La incorporación de la posibilidad de construir un sistema real supone, por tanto, una oportunidad para mejorar la motivación de los estudiantes, ya que la metodología incorpora elementos prácticos y un entorno de trabajo análogo al que se puedan encontrar en una situación real.

Por otra parte, al incluir dos asignaturas de dos áreas de conocimiento diferentes, es difícil integrar todos los contenidos recogidos en las dos asignaturas en un proyecto. Por ello, se ha optado por un modelo de implantación que combina la metodología PBL y la metodología tradicional (clases expositivas, ejercicios, demostraciones de laboratorio). Por tanto, entorno al 30% del temario se imparte desarrollando un proyecto bajo la perspectiva de la metodología PBL y el 70% restante siguiendo la metodología tradicional.

4. EL PROYECTO

El proyecto de apoyo a la metodología PBL constituye el elemento central del proceso de enseñanza-aprendizaje y su elección no es trivial. El proyecto debe ser didáctico con elementos relacionados con los objetivos docentes de las asignaturas involucradas. Para garantizar el éxito de la implantación de la metodología PBL y facilitar la gestión del proceso de enseñanza-aprendizaje, se ha optado por proponer un solo proyecto para toda la clase. Después de una reunión entre cuatro profesores, se ha llegado a un acuerdo de proponer un proyecto que se titula “Diseño de un Plotter” y consiste en el desarrollo de una estructura mecánica con sus sensores, actuadores y una unidad de control que permite posicionar una herramienta en un plano de 2 grados de libertad. La elección del proyecto se basa en los siguientes criterios:

- El proyecto se puede realizar con pequeños recursos económicos y no supone un gasto excesivo para los alumnos.
- El proyecto tiene una relación directa con varias asignaturas de la titulación.
- Es un proyecto con una cierta complejidad, por lo que se puede dividir en varios sub-proyectos. Esta posibilidad permite crear grupos pequeños, y propiciar así un

ambiente de aprendizaje colaborativo.

- Es un proyecto abierto y admite varias soluciones. Los alumnos tendrán que buscar los mejores compromisos entre la sencillez de las propuestas y el tiempo necesario para su realización.
- Los profesores encargados del desarrollo del proyecto pueden brindar apoyo y asesoramiento ya que poseen una experiencia previa en este tipo de realizaciones.

4.1. Aspectos técnicos del proyecto

El proyecto propone el diseño y la construcción de un plotter bidimensional. El proyecto consta de dos partes, donde la primera parte consiste en la construcción de la estructura mecánica del plotter, y la segunda parte del proyecto consiste en la integración de sensores y actuadores así como la realización del sistema de control del mismo.

La primera, vinculada a la asignatura de Teoría de Máquinas y Mecanismos, consiste en fabricar un mecanismo con 3 grados de libertad. Entre otros objetivos técnicos, el mecanismo debe tener un rozamiento mínimo en las partes articuladas. Para esto, se debe contemplar un sistema de transmisión eficiente y evitar así pérdidas por rozamiento y no tener que sobredimensionar los actuadores. A este diseño, el alumno debe efectuar todos los cálculos pertinentes como la relación de transmisión, velocidad del plotter, cinemas de velocidades, etc. Para el desarrollo de esta parte se pueden buscar transmisiones usadas, por ejemplo, en las impresoras de chorro de tinta o diseñar y construir un sistema completo de transmisión utilizando motores, correas o tornillos sin fin.

La segunda parte del proyecto, vinculada a la asignatura de Automatismos y Control, consiste en integrar en la estructura mecánica los sensores, actuadores y todo el cableado necesario. Los movimientos asociados a cada grado de libertad del mecanismo se protegen mediante finales de carrera (o sensores de contacto), protegiendo así a los motores de posibles golpes y sobretensión. Por otra parte, se tiene que diseñar un controlador que permita al usuario manejar todo el sistema. El controlador es un sistema abierto y se puede implementar de varias formas: diseñando un sistema básico basado en relés, usando un autómata programable, mediante el uso de un micro-controlador como el Arduino, u otras posibilidades. Así mismo, se da a los alumnos algunas recomendaciones como utilizar, por ejemplo, un bornero que centraliza a todas las conexiones eléctricas del sistema como la alimentación de los motores, actuadores, sensores, etc. La figura 1 muestra varios ejemplos realizados por los alumnos.

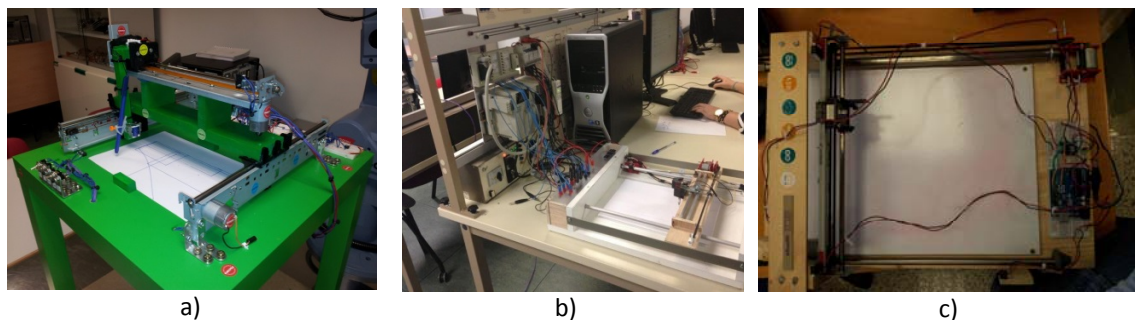


Figura 1. Ejemplo de realizaciones: a) Plotter con unidad de control basada en relés; b) Plotter controlado con un Autómata Programable; c) Plotter controlado con un Arduino

5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PBL

La implantación de metodología de PBL ha supuesto el desarrollo de varias etapas así como la consideración de varios aspectos. Algunas de estas consideraciones están detalladas a continuación.

5.1. La propuesta y tormenta de ideas

En la primera sesión de cada asignatura se ha entregado a los alumnos un documento con las indicaciones y requisitos que tienen que tener en cuenta para desarrollar el proyecto. La idea de desarrollar un proyecto y construir un prototipo, en una primera impresión, los alumnos la han tomado con recelo. Por ello, en la presentación oficial del proyecto, el profesor ha hecho hincapié en que el desarrollo de un proyecto sirve de marco para aprender. Asimismo, se ha hecho una breve descripción de la metodología PBL resaltando sus principales características. El profesor ha mostrado su plena confianza en la metodología y la ha presentado como una alternativa de aprendizaje que merece la pena explorar.

En la primera sesión de trabajo, en forma de tormenta de ideas moderada por el profesor, se ha tratado de identificar las partes más importantes del proyecto, escuchar propuestas y formar los grupos. Al final de esta sesión, se acordó dividir el proyecto en dos sub-proyectos que engloben la parte mecánica y la de control. Asimismo se han fijado de forma aproximada los objetivos técnicos que se deben alcanzar.

5.2. Método de trabajo

Los 3 grupos de aproximadamente 30 alumnos cada uno se han organizado en equipos de 3 alumnos donde uno de ellos, al menos, debe estar cursando las asignaturas involucradas en el PBL. La conformación de los grupos ha sido totalmente consensuada entre los alumnos. La primera tarea ha sido la firma del acta de constitución de los grupos de trabajo y la declaración, por parte de cada alumno, de su compromiso de trabajar y cumplir con sus obligaciones dentro de su grupo. Asimismo, cada grupo ha elaborado un ante-proyecto que establece los hitos, una planificación de las tareas a realizar y sus correspondientes entregas, así como los horarios de las reuniones de cada grupo.

En el desarrollo de la metodología, el profesor dedica aproximadamente 1 hora y 30 minutos semanales (y por asignatura) para dar tutorías y hacer el seguimiento de los diferentes proyectos. Por su parte, los alumnos han invertido más tiempo fuera del aula para cumplimentar sus diversas tareas como la búsqueda de la información, el diseño, la construcción, o la documentación. Cada alumno ha invertido en el desarrollo de su proyecto aproximadamente unas 40-50 horas.

Desde el punto de vista aprendizaje, los grupos cuyos integrantes cursan las dos asignaturas involucradas en la metodología PBL han evolucionado en un ambiente de aprendizaje colaborativo, ya que son los propios alumnos quienes diseñan su estructura de interacciones y mantienen el control sobre las decisiones que repercuten en su aprendizaje. En cambio, los alumnos que solo están cursando una asignatura, lógicamente, han evolucionado en entorno de aprendizaje cooperativo, dedicándose exclusivamente al desarrollo de su parte.

El rol del profesor también ha sido importante y no se ha limitado a observar a los alumnos, sino que ha tratado de crear una atmósfera de confianza y de fomentar la

colaboración entre los grupos. El profesor ha cedido el liderazgo del proyecto a los alumnos, los cuales se han convertido en auténticos protagonistas de sus respectivos proyectos.

5.3. La sesión final

Al finalizar el proyecto, cada grupo ha entregado una memoria acompañada de video demostrativo. Las demostraciones de funcionamiento de los proyectos se han realizado ante los 2 profesores involucrados y de los compañeros. La demostración consiste en una exposición oral explicando los aspectos más relevantes del proyecto, de una demostración del funcionamiento del sistema y, finalmente, de un turno de preguntas por parte de la audiencia.

5.4. Método de evaluación

Uno de los aspectos más complejos en la metodología PBL es la definición de un sistema de evaluación equitativo que refleje la aportación individualizada de los alumnos que han evolucionado dentro de un grupo. En nuestra experiencia la nota otorgada al proyecto representa un 30% de la nota final en ambas asignaturas. El 80% de la nota la otorgan los dos profesores evaluándose diversos aspectos definidos mediante una rúbrica. La nota no solo contempla la consecución técnica del proyecto, sino también el desarrollo de determinadas competencias como la planificación, la comunicación escrita y oral o la iniciativa. El 20% restante corresponde a una evaluación por pares. Por otra parte, la entrega y defensa del proyecto en la segunda convocatoria implica una penalización de un 20% de la nota del proyecto. Por último, la no entrega y defensa del proyecto conlleva un suspenso en las dos asignaturas.

6. EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA

El impacto de la puesta en marcha de la metodología PBL comentada en este artículo y su alcance sobre el aprendizaje ha sido evaluado de forma cualitativa y cuantitativa. Las metodologías empleadas se detallan a continuación.

6.1. Evaluación cualitativa basada en la opinión de los profesores

La evaluación cualitativa se basa principalmente en la percepción de los profesores involucrados en el desarrollo de la experiencia. En este aspecto, los profesores resaltan la mejoría del nivel de entendimiento entre profesores y alumnos, y se crea un entorno de aprendizaje marcado por la predisposición de los alumnos. El nivel de absentismo se redujo de forma significativa en comparación a otros años y los alumnos han encontrado alicientes para ir a clase. Los profesores afirman que los alumnos entran en una dinámica de aprendizaje autónoma y que el PBL les ha permitido adquirir una experiencia investigadora de gran valor. Si bien la metodología permite una cierta libertad a los alumnos, el profesor debe conocer las decisiones que se toman para poder corregirlas a tiempo y encauzar a los alumnos para no alejarse demasiado de los objetivos del proyecto. En lo que se refiere a la confianza de los alumnos en la metodología, esta ha variado según los grupos y trimestres. En nuestro caso, la implantación de la metodología PBL se ha realizado en 3 grupos; un grupo por trimestre. En este aspecto, los alumnos del primer trimestre tomaron la experiencia, sobre todo al principio, con algo de aprensión ya que son los primeros en experimentar

la nueva metodología. Por el contrario, los alumnos del segundo y tercer trimestres mostraron su confianza y predisposición en la nueva metodología, ya que vieron algunas realizaciones construidas por sus compañeros y que les han servido de modelo a seguir. En lo que respecta al desarrollo de las competencias transversales, los profesores afirman que el desarrollo del proyecto les ha permitido adquirir una experiencia valiosa de trabajo en equipo y que les ha permitido poner en práctica sus propias iniciativas. Finalmente, a pesar de ser una metodología nueva, la dedicación del profesor no ha sido especialmente excesiva como se pensaba al principio, y en términos generales, los profesores consideran la metodología PBL estimulante.

6.2. Evaluación cuantitativa

Evaluación cuantitativa sobre el impacto de la metodología PBL y su alcance sobre el aprendizaje se llevo a cabo mediante datos obtenidos de un cuestionario respondido por los alumnos a través del campus virtual justo al finalizar el proyecto. El cuestionario ha sido elaborado por dos profesores de la universidad cuya finalidad es medir la apreciación del conjunto de los alumnos. Las preguntas de la encuesta han sido diseñadas para respuestas de tipo SI/NO (véase la tabla 1), y una pregunta adicional para que expresen de forma literal su valoración del proyecto.

1. ¿Considera que la metodología PBES es importante para su formación académica?	SI__NO__
2. ¿Considera que el proyecto desarrollado es apropiado para las asignaturas involucradas?	SI__NO__
3. ¿Considera que los conceptos vistos en clase han sido necesarios para desarrollar el proyecto?	SI__NO__
4. ¿Considera que el proyecto le ha ayudado a aclarar determinados conceptos teóricos vistos en clase?	SI__NO__
5. ¿Considera que la duración del desarrollo del proyecto es la adecuada?	SI__NO__
6. ¿Considera que la planificación de las entregas del proyecto es la adecuada?	SI__NO__
7. ¿Considera que el material, los espacios y demás recursos disponibles actualmente son adecuados para el desarrollo de la parte experimental del proyecto?	SI__NO__

Tabla 1. Preguntas del cuestionario.

El cuestionario ha sido respondido por 36 alumnos y de los datos obtenidos se extraen varias conclusiones que se comentan a continuación.

En relación a la pregunta sobre la adecuación de la metodología PBL, la totalidad de los encuestados la consideran importante para su formación. Es más, en los diversos comentarios añadidos a la encuesta se expresa claramente la satisfacción de los alumnos por el aprendizaje adquirido a través del desarrollo de un proyecto. En lo que se refiere a la adecuación del proyecto, la mayoría (el 89%) de los encuestados considera que el proyecto elegido (plotter) es acertado y que está en plena sintonía con las asignaturas involucradas. Asimismo, el 75% de los encuestados afirman que el proyecto propuesto les ha permitido relacionar los conceptos teóricos vistos en clase con los aspectos prácticos desarrollados en el contexto del proyecto, y el 80% de los encuestados considera que el proyecto les ha permitido entender mejor determinados conceptos teóricos. En lo que se refiere a la duración del proyecto, las opiniones están divididas: el 47% de los encuestados opina que la duración ha sido escasa y que les hubiese gustado disponer de más tiempo para finalizar el proyecto. En relación a la planificación de las entregas propuesta por los profesores, el 69.5 % de los encuestados la consideran adecuada. Por último, la mayoría de los encuestados (89%) afirman que los espacios y demás recursos disponibles actualmente en los laboratorios son adecuados para el desarrollo de la parte experimental del proyecto.

7. CONCLUSIÓN

En este trabajo se ha presentado una experiencia práctica de implantación de la metodología de PBL en segundo curso en las titulaciones de grado de ingeniería industrial, donde la experiencia abarca dos asignaturas obligatorias: Automatismos y Control y Teoría de Máquinas y Mecanismos. En nuestra experiencia la implantación de la metodología PBL ha creado un escenario de aprendizaje que motiva y un ambiente de trabajo marcado por la predisposición de los alumnos. Asimismo, comprobamos en nuestra experiencia que gracias a la metodología PBL, los alumnos relacionan los contenidos teóricos con la práctica y sobre todo, el conjunto de los alumnos han experimentado los aspectos positivos de las competencias transversales como el trabajo en equipo, la planificación o la iniciativa. En conjunto, nuestra experiencia ha sido acogida favorablemente, tanto por los profesores, como por el conjunto de los alumnos.

REFERENCIAS

- Aliane, N., Bemposta, S. (2008), “Una Experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos en una Asignatura de Robótica”, *IEEE-RITA*, vol 3, no 2, pp.11-16.
- Barg, M., Fekete, A., Greening, T., Hollands, O., Kay, J., & Kingston, J. H. (2000). “Problem-based learning for foundation computer science courses”, *Comp. Sci. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp.109-128.
- Gwen, S. (2003). “Project-based learning: a primer” *Technology and Learning*, vol. 23, no 6, pp 20-30.
- Hung, D. (2002). “Situated cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology”. *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 13, no 4, 393-414.
- McMaster University: PBL, [en línea: último acceso: 18-06-2013] <http://www.chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm>
- Mingyang, G. (2004). “A Case to do empirical study using educational project”, *Journal of Issues in Informing Science and Information Technology*, vol. 1, no 1, pp. 509-520.
- Mustoe, L. R. & Croft, A. C. (1999). “Motivating engineering students by using modern case studies”, *European J. Eng. Educ.*, vol. 15, no 6, pp.469-476.
- Piguet, Y., Mondada, F., Siegwart, R.(2002). “Hands-on mechatronics: Problem-based learning for mechatronics”. *IEEE Inter. Conf. on Rob. Autom.*, Washington D.C., USA.
- Spong, M. W. (2006). “Project based control education” in *Proc. 7th IFAC Symp. Advances in Control Education*, Madrid, Spain, pp. 40-47.
- Universidad de Aalborg: [en línea, último acceso: 18-06-2013], <http://www.en.aau.dk/>
- Woods, D. R., Felder, R.M., Garcia, A. R., & Stice, J.E.(2000). “The future of engineering education III. Developing Critical Skills”. *Chem. Engr. Educ.*, vol. 34, pp. 108-117.