



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE MATEMÁTICAS A ESTUDIANTES DE INGENIERÍA Y QUÍMICA

- Menacho, Joaquin
IQS, Universitat Ramon Llull
Via Augusta 390, 08017 Barcelona
joaquin.menacho@iqs.edu
- González-Sabaté, Lucinio
IQS, Universitat Ramon Llull
Via Augusta 390, 08017 Barcelona
lucinio.gonzalez@iqs.edu
- Estrada-Tejedor, Roger
IQS, Universitat Ramon Llull
Via Augusta 390, 08017 Barcelona
roger.estrada@iqs.edu
- Tomás Morer, Xavier
IQS, Universitat Ramon Llull
Via Augusta 390, 08017 Barcelona
xavier.tomas@iqs.edu

1. **RESUMEN:** Se ha estudiado la eficacia de las actividades realizadas en la asignatura de Matemáticas I en Química e Ing. Química. Los estudiantes valoraron las diversas actividades en cuanto a su utilidad para aprender, aprobar y motivar. El análisis estadístico de las respuestas muestra una dirección de asociación positiva entre las variables (aprender, aprobar, motivar) que explica el 79,4% de la variabilidad. Estos resultados han permitido rediseñar las actividades.
2. **ABSTRACT:** We have studied the effectiveness of activities in the subject of Mathematics I in Chemistry and Chemical Engineering. Students evaluated the different activities in terms of their usefulness to learn, adopt and motivate. Statistical analysis of the responses shows a positive direction of association between variables (learning, approve, motivate) explaining 79.4% of variability. These results have enabled to redesign the activities.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

3. **PALABRAS CLAVE:** aprendizaje de matemáticas, calidad docente, mejora de la calidad, aprendizaje activo, prueba de Kruskal-Wallis / **KEYWORDS:** learning math, teaching quality, quality improvement, active learning, Kruskal-Wallis test.

4. **DESARROLLO:**

a) **Objetivos**

En el momento presente existe una preocupación importante en muchos países occidentales por la escasez de vocaciones a las ciencias e ingenierías así como de evitar el abandono de los estudios (French et al., 2003; Watson and Froyd, 2007; Daugherty et al., 2010; Foster, 2010; Jones et al. 2010). Por otro lado, una de las dificultades para retener a los estudiantes nuevos son los resultados obtenidos en las materias de contenido matemático (Veenstra et al., 2008; Barry and Davis, 2003; Brown and Burnham, 2012; Crawley et al., 2011) y se constata que la motivación de esos mismos estudiantes hacia el aprendizaje de las matemáticas no es alta, aunque se reconoce como un factor importante para el éxito de los estudios (Hutchinson et al., 2006; Ee, 2010; McCartan et al., 2010; Huang, 2011a; Brown and Burnham, 2012).

Si las matemáticas resultan un obstáculo para la perseverancia de los estudiantes de ingeniería, también existen evidencias de una pérdida estadísticamente significativa de las habilidades matemáticas entre el comienzo de la carrera y los últimos años de estudio (Engelbrecht et al., 2007; Veenstra et al., 2009). La retención de los conocimientos y habilidades se relaciona con la forma en que éstos fueron adquiridos (Fowler, 2003) de modo que un enfoque del aprendizaje basado en problemas (PBL) favorece esta asimilación de los conocimientos matemáticos (Kwon, 2007; Hindelsman et al. 2004; Mills y Treagust 2003). Por otro lado, existen experiencias positivas de enseñanza de las matemáticas en grados medios de ingeniería utilizando “case studies” (Townend, 2001) para mejorar la comprensión de los conceptos, aunque no representa una orientación tan puramente activa como PBL, pues los alumnos de primeros cursos se pierden si no son guiados para escoger las técnicas matemáticas adecuadas.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

La implementación del EEES ha resultado ser una buena ocasión para introducir aspectos didácticos nuevos, con el objetivo de mejorar la calidad del aprendizaje. En IQS School of Engineering de la Univ. Ramon Llull (Barcelona, Spain), la materia de Matemáticas de primer curso ha introducido una serie de horas dedicadas a “actividades”, diferentes de las tradicionales clases magistrales. Para la materia de Matemáticas, estas actividades han ocupado 20 horas/alumno, y se han realizado en grupos de unos 20 alumnos. El contenido de dichas actividades se ha desarrollado a partir de aquellos aspectos que los docentes sentían como más deficitarios por la propia experiencia y por estudios realizados anteriormente (Menacho et al., 2011); también se ha recurrido a buenas prácticas ya reconocidas (Grows and Cebulla, 2000), referidas a la conveniencia del trabajo en grupo supervisado por los profesores. También se ha tenido en cuenta la necesidad de introducir aspectos básicos de modelado matemático, que puedan sentar las bases para la materia de ecuaciones diferenciales de segundo curso (Veenstra et al., 2008; Huang, 2011b), así como a mostrar aplicaciones de las matemáticas con la finalidad de ayudar a integrar los diversos conocimientos y mostrar la aplicación de las matemáticas a los problemas de la ingeniería (Daugherty et al., 2010).

El objetivo de este trabajo es estudiar la eficacia de las actividades realizadas durante el curso 2010-11, en las asignaturas de Matemáticas de 1º curso de los grados en Química e Ingeniería Química, respecto a tres objetivos: la asimilación de los contenidos y habilidades propias de la materia, la mejora de los resultados académicos, y el aumento de la motivación respecto a las matemáticas. Este objetivo se inscribe en un proceso de mejora continua, en la que la reflexión de los docentes debe tener en cuenta la percepción por parte de los alumnos (Stedinger, 1996; Menacho et al., 2011).

Asimismo, se presentan diversas actividades didácticas que han sido utilizadas en el ámbito de las ciencias e ingeniería, así como una metodología para su evaluación. Los tipos de actividades que se presentan son fácilmente trasladables a otras materias de los primeros cursos de los estudios científicos y técnicos. Asimismo, la metodología de evaluación de la



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

efectividad de dichas actividades también es fácilmente aplicable en otras asignaturas de estudios del mismo ámbito.

b) Descripción del trabajo

Las matemáticas de primer curso de los grados en Química e Ingeniería Química es una asignatura anual, con cuatro horas semanales de clase magistral, en un grupo de unos 60 alumnos. Bajo el nombre genérico de “actividades” se han introducido unas 20 sesiones de trabajo en grupo reducido (20 estudiantes) de una hora de duración. En estas actividades se persiguen dos objetivos:

- Reforzar la materia dada en clase en un doble sentido: por un lado, profundizar su comprensión conceptual, y por otro, mejorar las destrezas.
- Aumentar la motivación en el estudio de las matemáticas, a través de su uso en aplicaciones concretas en el campo de la ingeniería y la química.

Estos dos objetivos deben repercutir en la mejora de los resultados académicos obtenidos. Considerando las características de las actividades didácticas, estas sesiones se pueden agrupar en los siguientes ocho tipos:

- 1) Sesiones de dudas: en estas sesiones los alumnos pueden preguntar las dudas que tengan sobre la materia, así como plantear los ejercicios que no han sido capaces de resolver en su trabajo personal.
- 2) Seminarios: son sesiones de 2 horas, realizadas en los días previos a un examen, en las que los alumnos pueden plantear las dudas que tengan acerca de la materia que va a ser examinada. Las dudas pueden referirse tanto a aspectos teóricos como a la resolución de problemas.
- 3) Trabajo supervisado: se propone una serie de 3 ó 4 ejercicios a resolver por parejas de alumnos. El profesor pasea por el aula y atiende consultas cuando es requerido. Cuando la mayor parte de parejas ha realizado correctamente el planteamiento de un



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

ejercicio, éste se discute brevemente con todo el grupo. A continuación se invita a las parejas a pasar a plantear el siguiente ejercicio. La finalización de los ejercicios se deja a los alumnos para su trabajo personal.

- 4) McLaurin: una sesión dedicada a mostrar detalladamente la construcción de los polinomios de McLaurin, y su significado gráfico. Se obtiene el polinomio de una función, y con ayuda de MS-Excel™ se discute la aproximación lograda tomando diferentes órdenes del polinomio. Se realiza una estimación del error mediante la fórmula de Lagrange.
- 5) Computación: una sesión de introducción a la utilización de un programa de cálculo simbólico (Wiris Little™ ;). WIRIS es una plataforma en línea para cálculos matemáticos pensada para usos educativos. Se puede acceder a una barra de herramientas a través de una página HTML que incluye el cálculo de integrales y límites, representación de funciones en 2D o 3D y la manipulación de matrices simbólicas, entre otros; abarca la mayoría de los temas de matemáticas desde la primaria hasta la universidad, como cálculo, álgebra, geometría, ecuaciones diferenciales, entre otros (www.wiris.com).
- 6) Diagonalización: se muestra una aplicación de la diagonalización de matrices. En este curso se trabajó la técnica de combinación lineal de orbitales atómicos (CLOA).
- 7) Integrales: siguiendo la misma dinámica que en el caso del trabajo supervisado, se discuten algunos problemas de aplicación de integrales, relacionados con cinéticas químicas, presión hidrostática, cálculo de energía consumida, entre otras.
- 8) Ecuaciones Diferenciales: siguiendo la misma dinámica que en el caso del trabajo supervisado, se discuten algunos problemas de modelado con ecuaciones diferenciales, entre ellos: cinética química, transferencia de calor y flujo de masa.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

Los datos para evaluar las actividades se obtuvieron mediante una encuesta voluntaria y anónima que se pasó a los alumnos al finalizar el curso. En esta encuesta se pedía valorar del 0 al 10 cada uno de los ocho tipos de actividades según la percepción que estudiante había obtenido respecto a su utilidad para: aprender algunos contenidos de la asignatura (X1), facilitar el aprobado de la asignatura (X2) y aumentar su motivar por los temas estudiados (X3). Además, se pedía una valoración global, también entre 0 y 10, sobre la afirmación “esta actividad me ha gustado” (X4).

Se obtuvieron datos de 48 alumnos, que fueron tratados mediante el paquete estadístico Statgraphics™ Centurion XV.

c) Resultados y conclusiones

Se recopilaron 352 respuestas correspondientes a los 44 estudiantes que valoraron todas y cada una de las 8 actividades. Se ignoraron las respuestas de los 4 alumnos que no contestaron a todas a las actividades. Del análisis de las respuestas se deduce lo siguiente:

- 1) La valoración global (X4) está fuertemente asociada a las respuestas de las preguntas a) aprender (X1) y motivar (X3), tal como indica la combinación lineal obtenida:

$$X4 = 0,238X1 + 0,772X3 + e \quad (R^2_a = 0,9794 \quad F_p = 9718,95 \text{ y Valor-P} < 0,0000)$$

- 2) El análisis de los factores de inflación de la varianza (FIV) de las tres variables restantes, eliminada la variable X4, muestra que aprender, aprobar y motivar se pueden considerar independientes ya que los tres FIVs correspondientes son menores de 3.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

Tabla 1. Medias por actividades para los tres objetivos (aprender, aprobar y motivar)

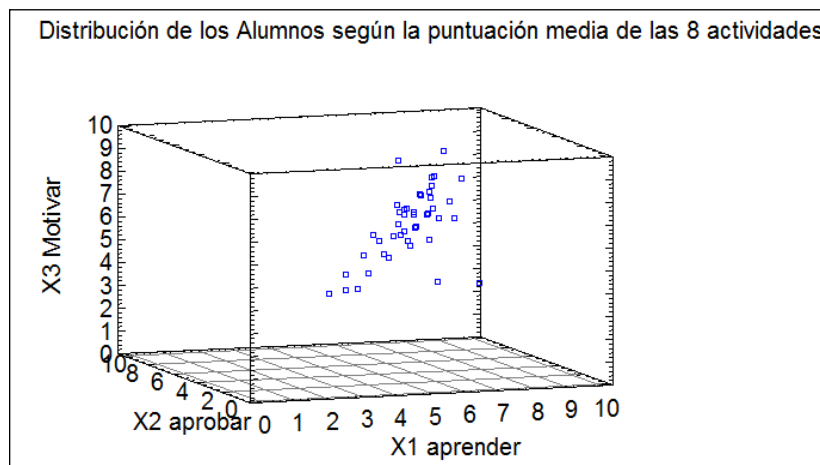
Actividad		X1 Aprender	X2 Aprobar	X3 Motivar
1	Sesiones de dudas	7,20	6,23	6,09
2	Seminarios	7,23	6,61	6,07
3	Trabajo supervisado	6,95	6,32	6,09
4	McLaurin	5,20	4,25	5,07
5	Computación	6,14	5,02	6,25
6	Diagonalización	6,43	5,57	6,73
7	Integrales	6,80	6,32	6,11
8	Ecuaciones Diferenciales	6,55	5,98	6,09

- 3) Las pruebas de Kruskal-Wallis indican que hay diferencias significativas entre las actividades para cada una de las tres variables: X1_Aprender (Valor-P < 0,0000), X2_Aprobar (Valor-P < 0,0000) y para X3_Motivar (Valor-P = 0,0294). Las medias de cada actividad por variable se muestran en la tabla 1.
- 4) La actividad 4 es la que sale peor valorada en las tres variables, mientras que la actividad 2 es la que les parece más útil para aprender y para aprobar y la actividad 6 resulta ser la más motivadora.
- 5) En la figura 1 se observa la distribución de los alumnos según su puntuación media de las 8 actividades. Destaca que a pesar de la heterogeneidad de opiniones, se observa una dirección de asociación positiva, de forma que un análisis de componentes principales proporciona un primer componente que explica la 79,4% de la variabilidad de los datos, cuya ecuación queda definida por:
$$0,509483 \cdot X1_Aprender + 0,6517 \cdot X2_Aprobar + 0,561885 \cdot X3_Motivar.$$
- 6) En la figura 1, no se observan agrupaciones claras entre los alumnos, pero si una dispersión relativamente amplia entre los extremos, distribución que merece una reflexión para diseño de las actividades en posteriores años académicos.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

Figura 1. Posición de los alumnos en el espacio Aprender-Aprobar-Motivar.



Finalmente, hay que hacer notar que los dos objetivos de aprendizaje con los que se diseñaron las actividades realizadas se reflejan positivamente en las variables X1 aprender y X3 Motivar para la mayoría de las actividades realizadas. Asimismo, las actividades son percibidas por los alumnos también como una ayuda para mejorar los resultados académicos de la materia. Esta información es útil para ser incorporada en un proceso de mejora continua, ya que para el próximo curso el profesor puede rediseñar las actividades de clase de acuerdo con los resultados observados con esta metodología.

La metodología presentada puede ser adaptada de forma fácil a otras asignaturas de estudios del ámbito científico-técnico, para la evaluación de nuevas actividades didácticas que puedan ser introducidas en su enseñanza.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barry, S.I. and Davis, S., Essential mathematical skills for undergraduate students (in applied mathematics, science and engineering), *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 30 (1999), 499-512.

Brown, S. and Burnham, J., Engineering Student's Mathematics Self-Efficacy Development in a Freshmen Engineering Mathematics Course, *International Journal of Engineering Education* 28 (2012), 113-129.

Crawley, E.F., Malmqvist, J., Lucas, W.A. and Brodeur, D.R., The CDIO Syllabus v2.0. An Updated Statement of Goals for Engineering Education, *Proceedings of the 7th International CDIO Conference*, Technical University of Denmark, Copenhagen (2011).

Daugherty, J.L., Reese, G.C. and Merrill, C., Trajectories of Mathematics and Technology Education Pointing To Engineering Design, *Journal of Technology Studies* 36 (1) (2010), 46-52.

Ee, T.F., Engineering Students' Learning Practices in Curtin Sarawak, *2nd International Congress on Engineering Education*, Kuala Lumpur (2010).

Engelbrecht, J., Harding, A. and Du Preez, J., Long-term retention of basic mathematical knowledge and skills with engineering students, *European Journal of Engineering Education* 32 (6) (2007), 735-744.

Foster, E., A New Equation. How Encore Careers in Math and Science Education Equal More Success for Students, *National Commission on Teaching and America's Future*, Washington DC (2010).

Fowler, D.A., Defining and determining the impact of a freshman Engineering student's approach to learning (surface versus deep), *Ph.D. Dissertation*, Texas A&M University, Texas (2003).



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

French, B.F., Inzntekus, J.C. and Oakes, W., A structural model of engineering students success and persistence, *33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boulder (CO) (2003).

Grows, D.A. and Cebulla, K.J., Improving student achievement in mathematics, *Educational Practices Series n°4*, International Academy of Education and International Bureau of Education, Brussels (2000).

Handelsman, J., Ebert-May, D., Beichner, R., Bruns, P., Chang, A., DeHaan, R., Gentile, J., Lauffer, S., Stewart, J., Tilghman, S.M. and Wood, W.B., Scientific Teaching, *Science* 304 (2004), 521-522.

Huang, Ch-H., Investigating the attitudes toward calculus of engineering students in Taiwan, *World Transactions on Engineering and Technology Education* 9 (2) (2011), 80-85.

Huang, Ch-H., Assessing the modelling competencies of Engineering students, *World Transactions on Engineering and Technology Education* 9 (3) (2011), 172-177.

Hutchinson, M.A., Follman, D.K., Sumpter, M. and Bodner, G.M., Factors Influencing the Self-Efficacy Beliefs of First-Year Engineering Students, *Journal of Engineering Education* 95 (1) (2006), 39-47.

Jones, B.D., Paretti, M.C., Heink, S.F. and Knott, T.W., An Analysis of Motivation Constructs with First-Year Engineering Students: Relationships among expectancies, Values, Achievement and Career Plans, *Journal of Engineering Education* 99 (4) (2010), 319-336.

Kwon, O.N., Towards Inquiry-Oriented Mathematics Instruction in the University, *CBMS Issues in Mathematics Education* 14 (2007), 89-96.



MODELOS FLEXIBLES DE FORMACIÓN: UNA RESPUESTA A LAS NECESIDADES ACTUALES

McCartan, Ch.D., Hermon, J.P., Cunningham, G., A model to sustain engineering mathematics learning in a CDIO environment, *Proceedings of the 6th International CDIO Conference*, École Polytechnique, Montréal (2010).

Menacho, J., González-Sabaté, L., Tejedor-Estrada, R. and Tricás, J., Testing a QFD Methodology to Improve a Calculus Course for Engineers, *International Journal of Engineering Education* 27 (5) (2011), 1003–1018.

Mills, J.E. and Treagust, D.F., Engineering education – Is problem-based or Project-based learning the answer?, *Australasian Journal of Engineering Education* (2003).

Stedinger, J.R., Lessons From Usign TQM in the Classroom, *Journal of Engineering Education* 85 (2) (1996), 151-156

Townend, M.S., Integrating Case Studies in Engineering Mathematics: a response to SATOR 3, *Teaching in Higher Education* 6 (2) (2001), 203-215.

Veenstra, C.P., Dey, E.L. and Herrin, G.D., Is Modeling of Freshman Engineering Success Different from Modeling of Non-Engineering Success?, *Journal of Engineering Education* 97 (4) (2008), 467-479.

Veenstra, C.P., Dey, E.L. and Herrin, G.D., A Model for Freshman Engineering Retention, *Advances in Engineering Education* 1 (3) (2009), [<http://advances.asee.org/vol01/issue03/papers/aee-vol01-issue03-p07.pdf>].

Watson, K. and Froyd, J., Diversifying the U.S. Engineering Workforce: A New Model, *Journal of Engineering Education* 96 (1) (2007), 19-32.