

USO DE LOS ERRORES COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA EN EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS EN EL NIVEL UNIVERSITARIO

Susana Nieto Isidro

Higinio Ramos Calle

Departamento de Matemática Aplicada. Escuela Politécnica Superior de Zamora

INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN:

La razón de ser de este Proyecto de Innovación docente se enmarca dentro del objetivo general de los autores de mejorar la calidad en el aprendizaje del *currículum* de matemáticas en las Escuelas de Ingeniería, en particular en el campo de actuación de la Escuela Politécnica Superior de Zamora en la que ambos autores están adscritos.

Ya se ha llamado la atención en diferentes ocasiones sobre la deficiente formación en matemáticas básicas que tienen los estudiantes que acceden a los estudios de Grado en Ingeniería en la actualidad. Esta situación ha sido mostrada por los autores en trabajos previos con los propios estudiantes de la Escuela Politécnica Superior de Zamora, como se puede ver en los trabajos presentados en las I Jornadas de Innovación Educativa de la Universidad de Salamanca (Nieto y Ramos, 2011), en las que se presentó el trabajo *Test de conocimientos previos: una oportunidad para aprender de los errores*, en el VII Congreso Iberoamericano de Docencia Universitaria en Oporto (Nieto et al, 2012).), en el que se presentó el trabajo *Evaluación de conocimientos previos de matemáticas en estudiantes de nuevo ingreso, en Grados en Ingeniería de la Universidad de Salamanca (España)*, o en el 16th Seminar of the Mathematical Working Group of SEFI (Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs) en Salamanca (Nieto y Ramos, 2012), en el que se presentó el trabajo *Pre-Knowledge of Basic Mathematics Topics in Engineering Students in Spain*.

En estos análisis hemos detectado que una de las causas de esta falta de formación en matemáticas básicas es el alto porcentaje de alumnos procedentes de los Ciclos Superiores de Formación Profesional que acceden a los estudios de Grado en Ingeniería. Este acceso, masivo en algunas titulaciones de Ingeniería, es debido en parte al escenario de crisis económica que hace que estos estudiantes opten por mejorar su formación en lugar de acceder a un mercado de trabajo que, además de ser escaso, en ocasiones les resulta muy poco favorable. Este diagnóstico nos llevó a generar un curso virtual de nivelación para alumnos procedentes de Ciclos Superiores que presentamos en el proyecto de innovación docente de la Universidad de Salamanca ID2012/085 el cual ha dado muy buenos resultados. Estos resultados se mostraron en las II Jornadas de Innovación Docente de la Universidad de Salamanca (Nieto y Ramos, 2013a), en las que se presentó el trabajo *Diseño y evaluación de material de apoyo en matemáticas básicas para alumnos procedentes de ciclos formativos en la Escuela Politécnica Superior de Zamora* y en otros foros como la 8ª Conferencia Ibérica en Sistemas y Tecnologías de la Información, CISTI (Ramos y Nieto, 2013), en Lisboa, donde se presentó el trabajo *Uso de una plataforma virtual como elemento de apoyo para la adquisición de habilidades matemáticas básicas en alumnos de ingeniería*. También, en relación con esta temática, en el Congreso TEEM'13 en Salamanca se presentó el trabajo *A virtual tool to improve the mathematical knowledge of engineering students* (Nieto y Ramos,

2013b). Esta labor de los autores desarrollada en los cursos on-line ha dado también lugar a una publicación internacional titulada *Improving mathematical competencies of students accessing to Higher Education from Vocational Training Modules* en la revista *Journal of Case Studies in Information Technology* (Nieto y Ramos, 2014).

Sin embargo, no sólo los estudiantes procedentes de Ciclos Formativos tienen carencias en su formación matemática inicial. Con todos los alumnos de nuevo ingreso, seguimos encontrándonos en los exámenes y trabajos de los alumnos con fallos matemáticos y errores de concepto y de desarrollo muy llamativos. Estos errores no se justifican ni en la formación del alumnado (los cometen también alumnos procedentes de Bachillerato, no solo los procedentes de los Ciclos Formativos) ni en los contenidos que se les imparten en el aula, puesto que se refieren a destrezas matemáticas que son de adquisición previa a la entrada en la propia Universidad.

Los problemas asociados a la comisión de estos errores matemáticos son muchos: en muchas ocasiones invalidan la resolución de un problema matemático, que queda inacabado o llega a una contradicción por “fallos en las cuentas”; impiden la correcta comprensión del procedimiento o de los conceptos matemáticos implicados; y son una causa clara de fracaso en la consecución de objetivos, que además no está relacionada con la dificultad de la materia de estudio, con las capacidades de los alumnos o con la pericia del docente, sino con el bagaje previo de dichos estudiantes.

En cuanto a las causas de la comisión generalizada de estos errores, somos conscientes de que estos fallos pueden ser achacables a muy diversas causas. Algunas de ellas dependen de las características personales de los alumnos, como la falta de atención, el nerviosismo en las sesiones de examen o la inseguridad en el manejo de objetos matemáticos. Pero hay otras causas mucho más extendidas, como la deficiente adquisición de habilidades matemáticas básicas en los niveles anteriores a la Universidad, la falta de práctica de los estudiantes a la hora de realizar cálculos sobre papel o razonamientos matemáticos extensos, o la utilización de generalizaciones erróneas, sobre las que sí tenemos capacidad de actuación desde nuestra posición como docentes.

Además, se da la circunstancia de que algunos de estos errores son cometidos por un alto porcentaje de los estudiantes, de manera que pasan a afectar al aprendizaje de todo el grupo, y no solo a un subconjunto de alumnos que pudieran tener mala formación matemática previa por sus circunstancias personales o académicas. Esta circunstancia además parece que está extendida no sólo en España, sino en diversos países europeos (Kurz, 2010; Ni Fhloinn, y Carr, 2010). En el caso de los estudiantes de ingeniería, esta deficiente formación matemática previa afecta fuertemente a su formación, como advierten ciertos investigadores (Mustoe, 2002; Mustoe y Lawson, 2002; Kent y Noss, 2003; Bowen et al., 2007) y también instituciones profesionales y educativas (International Commission on Mathematical Instruction 1997, Engineering Council, 2000, Institute of Physics 2011, European Society for Engineering Education, 2013).

Es en este contexto en el que presentamos nuestro Proyecto, en el que queremos utilizar los propios errores habituales de los estudiantes, cometidos en exámenes, pruebas parciales y trabajos presentados, como herramientas didácticas de aprendizaje de las matemáticas. Queremos que sea la disonancia cognitiva que se genera en el análisis de una información errónea, la que ayude a los estudiantes a adquirir estas habilidades básicas y les disuadan de cometer esos errores de interpretación o cálculo que generalmente nos encontramos en la corrección de las pruebas de evaluación. Como docentes deberíamos tener en cuenta esta deficiente formación y tratar de ponerle remedio en los primeros cursos de carrera, donde la influencia negativa de este aprendizaje defectuoso previo es más evidente.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

En el diseño de este Proyecto, hemos seguido los siguientes pasos:

1- Clasificación de errores y preparación de las sesiones: En primer lugar se ha realizado una labor de recogida y sistematización de los principales errores cometidos por los estudiantes, para obtener una clasificación básica de errores matemáticos más frecuentes o comunes en los diferentes bloques temáticos o unidades temáticas del curso. El trabajo realizado para llevar a cabo esta clasificación y cuantificación permite también desarrollar un “índice de error” *ad hoc* que permita posteriormente analizar el éxito de esta propuesta.

Estos errores y fallos se han localizado en exámenes y trabajos previos realizados por los alumnos: en particular, en las pruebas parciales realizadas por los alumnos de cursos anteriores de la misma asignatura en la que se ha llevado a cabo el Proyecto. También la dilatada experiencia docente de los autores contribuye a proporcionar ejemplos de fallos cometidos con asiduidad por los alumnos.

Creemos además que es importante que los errores mostrados a los alumnos sean reales, cometidos por ellos mismos o por compañeros suyos, para así maximizar su impacto. Es importante que no se trate solo de advertencias realizadas por los profesores, sino de errores reales cometidos por ellos mismos, para que vean dónde se cometen estos fallos y como son más comunes de lo que piensan. Se trata de evitar en lo posible que un fallo en las cuentas, un razonamiento erróneo o unas operaciones mal realizadas invaliden la resolución de un problema matemático.

Esta clasificación de errores en algunos casos particulares será comentada con detalle en la sección dedicada a comentar los resultados de la experiencia.

2- Realización de la sesión presencial: A lo largo del transcurso de la asignatura, en el segundo cuatrimestre del curso 2013-2014, se ha realizado una sesión presencial en el aula (correspondiente al primero de los tres bloques temáticos de la asignatura) dedicada a las labores de detección de estos errores habituales y de análisis de los razonamientos incompletos, falsos, operaciones incorrectas, etc., encontrados en los exámenes. Está diseñada como una sesión de “lo que no hay que hacer” y fue realizada en los días previos a la evaluación parcial de las unidades temáticas implicadas, para que prevengan de forma efectiva la repetición de esos errores en las sesiones de evaluación y en los trabajos y problemas entregados por los alumnos. Se pretende así ayudar a nuestros estudiantes a mejorar sus resultados en las pruebas de evaluación, haciéndoles conscientes de los errores que se pueden cometer.

Se ha procurado maximizar la asistencia a esta sesión de búsqueda y corrección de errores identificándola como tal y anunciándola a los alumnos mediante un mensaje de aviso por los medios habituales de comunicación (STUDIUM, correo electrónico). Esta labor puede verse afectada por la coincidencia de exámenes parciales o de otras tareas que los alumnos deben de realizar (prácticas, presentación de trabajos, etc.), por lo que hay que buscar una fecha que no limite el alcance de esta propuesta, maximizando la asistencia a estas sesiones presenciales.

3- Cuantificación de los resultados: Además de llevar a cabo esta experiencia, que en nuestra opinión es muy beneficiosa para los alumnos, quisiéramos también poder cuantificarla, dar una medida del posible éxito de la iniciativa. Para ello, se ha analizando la posible mejora en los exámenes parciales correspondientes a este curso 2013-2014 con respecto a los mismos exámenes del curso anterior, para ver si se ha producido un cambio sustancial en el número o en el tipo de errores cometidos por los alumnos en estas pruebas. En particular, se analizará la persistencia de los errores analizados con más detalle en la sesión presencial.

DATOS DEL PROYECTO:

Este Proyecto se ha llevado a cabo con los estudiantes de la asignatura Matemática Aplicada II, de la titulación de Arquitectura Técnica de la Escuela Politécnica Superior de Zamora, durante el presente curso 2013-2014. Se trata de un total de 35 alumnos/as, de los cuales aproximadamente el 30% proceden de Ciclos Formativos de Grado Superior. Este dato es relevante, pues ya hemos indicado cómo estos estudiantes tienen una menor formación matemática y suelen cometer errores muy frecuentemente, dada su poca práctica en la realización de cálculos matemáticos extensos.

Esta asignatura en la que se ha desarrollado el Proyecto contiene temas de álgebra lineal (matrices, sistemas de ecuaciones lineales, diagonalización de endomorfismos) geometría (espacio afín, espacio euclídeo, cónicas) y estadística. Dado el carácter experimental de este Proyecto, y con el objeto de realizar un análisis detallado de su eficacia, hemos limitado la iniciativa a la primera parte de la asignatura dejando la geometría y la estadística fuera de este estudio, puesto que los errores cometidos en ellas son de diferente naturaleza y no tienen el acusado carácter procedimental de los errores cometidos en la primera parte de la asignatura.

Se ha desarrollado por tanto material para una sesión con contenidos de álgebra lineal, que tiene las siguientes características:

Sesión de errores: Álgebra Lineal:

En primer lugar, se analizan los errores cometidos en el primer parcial de la asignatura a partir de los exámenes parciales del curso 2012-2013 correspondientes a la misma asignatura Matemática Aplicada II de la misma titulación de Arquitectura Técnica. Este análisis nos deja el siguiente listado para un total de 38 exámenes, en los que se ha contabilizado el número de errores entre los alumnos que han contestado la pregunta correspondiente:

- Error en el cálculo o en el razonamiento sobre el rango de una matriz. Frecuencia: 14 de 34 cuestiones, un 41,2%.
- Cálculo erróneo del determinante de una matriz con parámetros. Frecuencia: 21 de 61 cuestiones, un 34,4%.
- Cálculo erróneo de las raíces de un polinomio de grado dos o tres. Frecuencia: 12 de 61 cuestiones, un 19,7%.
- Cálculo erróneo de la solución de un sistema de ecuaciones. Frecuencia: 13 de 21 cuestiones, un 61,9%.
- También hemos de señalar que algunas cuestiones son dejadas sistemáticamente en blanco por los estudiantes, lo que supone mal conocimiento de los conceptos o procedimientos empleados: así, 17 exámenes (un 44,7% de los 38 exámenes) tienen en blanco alguna de las 3 cuestiones (2 teórico-prácticas y un problema) relacionadas con la diagonalización. De ellos, 9 (un 23,7%) no han dado ni un solo paso del procedimiento de diagonalización.

Por lo tanto, se trata de diseñar una sesión que contenga estos fallos habituales. Esta sesión se ha diseñado de la siguiente manera:

1. Para cada uno de los estudiantes que acuden a la sesión de errores, se ha repartido un ejemplar de “hoja de prueba” anónima, en el que hay que reproducir un procedimiento matemático que suele tener fallos: en este caso, se trata del procedimiento de diagonalización de un endomorfismo.

2. Cada uno de los estudiantes ha completado el procedimiento en clase, como si se tratase de una pregunta de examen. Dado que esta sesión se realiza en las fechas previas al examen, es de esperar que cuenten con las destrezas necesarias para realizar la tarea correctamente.
3. A continuación se recoge la hoja de prueba anónima y se vuelve a repartir, desordenada, entre los propios estudiantes. Se les pide que ayuden a corregir la labor del compañero/a (anónimo) que les ha caído en suerte.
4. La profesora realiza la tarea paso a paso en la pizarra, deteniéndose en los pasos donde hay posibilidad de error, indicando a los estudiantes cómo deben corregir la tarea que tienen delante y preguntando si se han producido esos u otros errores. Se hace especial hincapié en los errores habituales y se muestran ejemplos de alguno de ellos, por ejemplo la resolución de un sistema de ecuaciones cuando falta alguna de las incógnitas.
5. Las tareas, una vez corregidas, son recogidas por la profesora para el posterior análisis tanto de la ejecución inicial de los estudiantes como de la corrección realizada por sus compañeros.

RESULTADOS DEL ESTUDIO

La sesión de errores resultó muy exitosa. Un total de 24 alumnos de los 30 que finalmente se presentaron al examen siguió presencialmente la sesión y completó la hoja anónima de tarea proporcionada por la profesora. Del análisis de estas hojas y de la corrección realizada por los compañeros podemos extraer los siguientes resultados:

- Solo 1 de los 24 estudiantes fue capaz de completar el procedimiento sin tener ningún fallo. Otros 9 no lo completaron y abandonaron en diferentes puntos del procedimiento, si bien las operaciones (incompletas) realizadas hasta ese momento eran correctas. Dado que el tiempo para resolver el problema fue abundante, cabe suponer que no sabían completar ese procedimiento concreto.
- Los fallos de procedimiento más habituales se corresponden con pérdida de signos, copiar mal los datos del enunciado, aplicar incorrectamente la propiedad distributiva en un producto de binomios, no hallar las soluciones de un polinomio de segundo grado, y resolver de forma incorrecta uno o varios sistemas de ecuaciones homogéneos. Todos estos fallos se corresponden con contenidos que los estudiantes deben aprender en niveles previos a la universidad.
- Los fallos de comprensión más habituales se corresponden a la incongruencia entre lo que debería obtenerse como solución según los datos del problema y lo que realmente se obtiene debido a los fallos de cuentas anteriores. Estos errores sí que pueden ser achacados al contenido de la asignatura: los errores de procedimiento llevan a una solución incongruente, pero que el alumno, por su falta de comprensión de la materia, no detecta como errónea. Este es el caso sobre todo de la solución de un sistema de ecuaciones homogéneo en el que no está presente una de las incógnitas: la información del rango de la matriz implica una solución que sin embargo es mal hallada por los estudiantes, que no son capaces de vez la contradicción entre ambas informaciones. Este es un aspecto que fue resaltado por la profesora en la sesión de errores y que fue cometido por un total de 6 estudiantes de los 12 que llegaron hasta ese punto en el desarrollo del problema.

Además, se ha analizado la persistencia de los errores encontrados en el curso anterior, cuantificando la presencia de estos errores en los exámenes parciales correspondientes. En el curso 2013-2014 se han examinado un total de 30 estudiantes, encontrándose los siguientes resultados:

- Error en el cálculo o en el razonamiento sobre el rango de una matriz. Frecuencia: 11 de 28 exámenes, un 39,3%.
- Cálculo erróneo del determinante de una matriz con parámetros. Frecuencia: 13 de 55 exámenes, un 23,6%.
- Cálculo erróneo de las raíces de un polinomio de grado dos o tres. Frecuencia: 11 de 55 exámenes, un 20,0%.
- Cálculo erróneo de la solución de un sistema de ecuaciones. Frecuencia: 10 de 27 exámenes, un 37,0%.
- De los 30 exámenes, en 12 de ellos se ha dejado en blanco alguna de las cuestiones relacionadas con la diagonalización (un 40%), pero hay solo 3 estudiantes que no han comenzado siquiera el procedimiento de diagonalización (un 10%).

Evidentemente, no podemos realizar un análisis estadístico con una cantidad tan pequeña de datos recogidos. Se trata además de diferentes grupos de alumnos y el examen, si bien con los mismos contenidos, no es idéntico; pero sí que podemos apuntar algunas tendencias generales que podemos resumir en la siguiente tabla:

Tabla 1: diferencia de resultados en los exámenes parciales. Cursos 2012-2013 y 2013-2014

| ERRORES | Curso 2012-2013 | Curso 2013-2014 | Diferencia relativa (%) |
|--|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Razonamiento incorrecto rango | 41,2%. | 39,3% | Similar (-4,6%) |
| Determinante mal calculado | 34,4% | 23,6% | -31,4% |
| Raíces mal calculadas | 19,7%. | 20,0% | Similar (+1,5%) |
| Sistemas mal resueltos | 61,9%. | 37,0% | -40,0% |
| Ninguna cuestión de diagonalización | 44,7% | 40% | -10,5% |
| Procedimiento de diagonalización en blanco | 23,7% | 10% | -57,8% |

Como puede verse en la tabla, podemos extraer los siguientes resultados de la iniciativa:

- Hay un descenso brusco de los estudiantes que dejan cuestiones en blanco (que ha caído a menos de la mitad, un descenso del 57'8%).
- También se observa una mejora muy importante en los temas entrenados en la sesión de errores, como la resolución de un sistema de ecuaciones, con un descenso del 40%, o el cálculo de determinantes con parámetros, con un descenso del 31,4%.
- También podemos ver que se ha mantenido una proporción similar precisamente en temas que no se han recogido explícitamente en la sesión de errores, como es el caso del cálculo del rango de matrices no cuadradas, o el cálculo de raíces de polinomios,

que es una destreza que no se entrena específicamente y que deberían dominar antes de la entrada en la Universidad.

A partir de estos resultados, para nosotros queda claro que el estudio del rango, que es de vital importancia en los razonamientos relacionados con la resolución de sistemas de ecuaciones, debe ser abordado específicamente para conseguir mejorar estos índices de error elevado que presentan los estudiantes, y que ronda el 40% de los exámenes en los que se han abordado estas cuestiones.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Nos parece que de la aplicación de esta iniciativa se desprende que la inclusión de los errores como herramienta didáctica tiene un potencial docente muy elevado, sobre todo si se hace de una forma participativa para el estudiante, de manera que le permita percatarse de las ocasiones de error y de los fallos que se cometen habitualmente. Así podrá mejorar su atención en determinados pasos o procedimientos que suelen ser causas de error y evitar su comisión.

Otra consecuencia que se puede extraer de esta iniciativa es el descenso de cuestiones dejadas en blanco por los estudiantes, lo que sugiere que tienen más confianza en sus posibilidades de completar un procedimiento y están más seguros de sus posibilidades de resolver las cuestiones planteadas.

Además, como docentes, el análisis pormenorizado de los errores cometidos más frecuentemente resulta de gran interés y permite mejorar sustancialmente nuestra labor docente, al permitirnos incidir sobre las cuestiones que resultan más difíciles de implementar o de comunicar a los estudiantes.

Por otra parte, dentro de esta filosofía de llamar la atención sobre los errores, parece ser más efectivo este tipo de iniciativas en las que se realizan sesiones de errores de forma participativa, mediante el procedimiento descrito (respuesta anónima y corrección por iguales) u otro similar que haga que los alumnos se vean incluidos en el procedimiento. Nos parece que hay una menor efectividad en mantener a los alumnos como meros receptores pasivos de “advertencias” lanzadas por el profesor sobre las dificultades de la materia, que son de menor eficacia y se olvidan con mayor facilidad.

Creemos que la introducción de sesiones de este estilo es una forma muy sencilla de mejorar el rendimiento de nuestros estudiantes, y que se pueden adaptar fácilmente a todas las áreas de conocimiento y tipos de asignaturas, por lo que animamos a los docentes a realizar un listado de “errores habituales” que en nuestra experiencia son cometidos habitualmente por los estudiantes, y facilitarles la superación de los mismos de forma explícita en el aula. En nuestra experiencia, con la realización de las estrategias que proponemos, la comisión de estos errores disminuye y se mejora el rendimiento académico de nuestros estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, E., PRIOR, J., LLOYD, S., THOMAS S., AND NEWMAN-FORD, L. (2007) Engineering more engineers -bridging the mathematics and careers advice gap, *Engineering Education* 2 (1), 23-31.
- KURZ, G. (2010). A Never-ending story: mathematics skills & deficiencies of engineering students at the beginning of their studies, *15th SEFI-MWG European Seminar on Mathematics in Engineering Education*. Wismar, Germany.

- MUSTOE, L.(2002). The mathematics background of the undergraduate engineers, *International Journal of Electrical Engineering Education*, 39 (3), 192-200.
- NIETO, S. Y RAMOS, H. (2011). Test de conocimientos previos: una oportunidad para aprender de los errores, *I Jornadas de Innovación Docente de la Universidad de Salamanca*, Salamanca, España.
- NIETO, S, Y RAMOS H (2012). Pre-knowledge of basic mathematics topics in engineering students in Spain, *16th SEFI-MWG European Seminar on Mathematics in Engineering Education*. Salamanca, España.
- NIETO, S. Y RAMOS, H. (2013a). Diseño y evaluación de material de apoyo en matemáticas básicas para alumnos procedentes de ciclos formativos en la Escuela Politécnica Superior de Zamora. *II Jornadas de Innovación Docente de la Universidad de Salamanca*, Salamanca, España
- NIETO, S. Y RAMOS, H. (2013b). A virtual tool to improve the mathematical knowledge of engineering students. *Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13)*. Salamanca, España.
- NIETO, S. Y RAMOS, H. (2014). Improving mathematical competencies of students accessing to Higher Education from Vocational Training Modules. *Journal of Case Studies in Information Technology (in press)*.
- NIETO, S., RODRÍGUEZ-CONDE, M.J. Y MARTÍNEZ, F. (2012). Evaluación de conocimientos previos de matemáticas en estudiantes de nuevo ingreso en Grados en Ingeniería de la Universidad de Salamanca. En C. LEITE Y M. ZABALZA (COORDS.) *Ensino Superior: Inovação e qualidade na docência* (pp. 3874- 3889). Centro de Investigação e Intervenção Educativas, Porto, Portugal.
- NI FHLOINN, E. Y CARR, M. (2010). What do they really need to know? Mathematics requirements for incoming engineering undergraduates, *15th SEFI-MWG European Seminar on Mathematics in Engineering Education*. Wismar, Germany
- RAMOS, H. Y NIETO, S. (2013). Uso de una plataforma virtual como elemento de apoyo para la adquisición de habilidades matemáticas básicas en alumnos de ingeniería. *8ª Conferencia Ibérica en Sistemas y Tecnologías de la Información, (CISTI8)*. Lisboa, Portugal.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- ENGINEERING COUNCIL (2000). *Measuring the mathematics problem*. The Engineering Council, London. Recuperado el 28-02-2013 de <http://www.engc.org.uk/ecukdocuments/internet/document%20library/Measuring%20the%20Mathematic%20Problems.pdf>
- EUROPEAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION (2013). *A framework for mathematics curricula in engineering education*. Recuperado el 6-6-2014 de <http://sefi.htw-aalen.de/Curriculum/Competency based curriculum incl ads.pdf>
- INSTITUTE OF PHYSICS (2011) *Mind the gap. Mathematics and the transition to A-levels to physics and engineering degrees*. The Institute of Physics, London. Recuperado el 28-02-2013 de http://www.iop.org/publications/iop/2011/file_51933.pdf
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MATHEMATICAL INSTRUCTION (1997) On the teaching and learning of mathematics at university level. *ICMI Bulletin No.43*. Recuperado el 28-02-2013 de <http://www.mathunion.org/o/Organization/ICMI/bulletin/43/Study.html>
- KENT, P. Y NOSS, R. (2003). *Mathematics in the university education of engineers. Ove Arup Foundation Report*, Ove Arup Foundation, London. Recuperado el 28-02-2013 de <http://www.lkl.ac.uk/research/REMIT/Kent-Noss-report-Engineering-Maths.pdf>
- MUSTOE, L. Y LAWSON, D. (2002). *Mathematics for the European engineer. A curriculum for the twenty-first-century*. Recuperado el 28-02-2013 de <http://sefi.htw-aalen.de/Curriculum/sefimarch2002.pdf>