



JAÉN

20 | 20
22 | 21

OCTUBRE

XXIII CONGRESO
NACIONAL DE
INGENIERÍA
MECÁNICA



Evaluación por competencias en asignatura troncal de Mecánica de Fluidos

Luis Parras¹, Jorge Aguilar-Cabello¹, Francisco José Blanco-Rodríguez², Paloma Gutierrez-Castillo¹, Antonio J. Hijano¹, María Isabel Olmo-Sánchez¹, Carlos del Pino¹, Juan José Serrano-Aguilera¹.

¹ Departamento Ingeniería Mecánica, térmica y de Fluidos, Universidad de Málaga, lparras@uma.es, jorgeac@uma.es, paloma_gutierrez@uma.es, ajhijano@uma.es, maribelolmo@uma.es, cpino@uma.es, jj.serragui@uma.es.

² Área de Mecánica de Fluidos, Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla, Avenida de los Descubrimientos s/n 41092, Sevilla, Spain, fbrodriguez@us.es

Este trabajo presenta una propuesta de evaluación por competencias para una asignatura troncal de Mecánica de Fluidos. Se propone eliminar el examen final para la evaluación del aprendizaje por una evaluación continua de cada uno de los objetivos de aprendizaje. La evaluación continua consiste en la resolución de problemas con múltiples respuestas en el aula de informática. Para demostrar la adquisición de la competencia definida en el objetivo de aprendizaje el alumno deberá responder correctamente al menos un 80% de los problemas propuestos para cada uno de ellos, con un mínimo de 10 problemas por objetivo. Este tipo de evaluación asíncrona se puede llevar a cabo en las horas de tutoría y permite la corrección automática de las mismas, consiguiendo simultáneamente un triple objetivo: (i) liberar de carga de trabajo al docente; (ii) asegurar un mínimo de calidad en la evaluación de la adquisición de las habilidades requeridas en una asignatura troncal y (iii) hacer responsable al alumnado de su propio aprendizaje, pudiendo evaluarse en cualquier momento del semestre y repitiendo la evaluación.

1. Introducción

El Espacio Europeo de Educación Superior es un ámbito de organización educativo que comenzó con el proceso de Bolonia en 1999. Pretende armonizar los sistemas de educación superior de los países participantes para proporcionar el intercambio de estudiantes. En la actualidad hay más de 49 países participantes, entre los que se incluyen todos los de la Unión Europea además de otros como Rusia y Turquía. Básicamente, el EEES estableció una estructura basada en los créditos ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*) que supone unas 25/30 horas de trabajo total del alumno, y además diferenció los niveles de estudio en Grado, Posgrado y Doctorado. Por último, se establece un sistema de Acreditación donde organismos de control externos revisan el funcionamiento de cada uno de los títulos. Por otro lado, y mucho más importante que todo lo anterior, el EEES supone un cambio metodológico, centrandolo en la enseñanza en el aprendizaje del alumno, favoreciendo la adquisición de las competencias necesarias para su labor profesional y que seguirá desarrollando durante el resto de su vida laboral.

Tras años de aplicación del EEES en España, podemos concluir que la parte administrativa está plenamente consolidada, puesto que han salido ya numerosas promociones de todos los Grados y Másteres en todas las universidades de España, pero queda la duda de si las metodologías docentes utilizadas han permitido la adquisición de las competencias y habilidades que han de tener los egresados de los títulos. De esta forma, la OCDE desarrolló el AHELO (*Assesment of Higher Education Learning Outcomes*), que es el equivalente al informe PISA pero para la educación superior. Este estudio, que indica que es científicamente posible y factible de manera práctica medir los resultados de aprendizaje de los estudiantes de último año en distintos países (o de distintos sistemas educativos, para ser más exactos) fue el primer intento a gran escala de evaluar el aprendizaje a lo largo de distintos sistemas, lenguajes y culturas. La finalidad de AHELO [1] es la de proporcionar datos fiables de resultados de aprendizaje con la mente en la posible mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje sin reducir todo este proceso a un modelo de clasificaciones de instituciones o sistemas educativos. Recientemente, y con una mayor relación dentro del ámbito de la enseñanza de la Ingeniería Mecánica destacaremos el proyecto KOM-ING, financiado por el Ministerio de Educación e Investigación de Alemania (BMBF) dentro del programa “Modelado

y medida de competencias en educación superior” [2]. La intención de este proyecto de investigación es la creación de una base para la evaluación de la adquisición y el desarrollo de las competencias académicas. En particular, esta investigación se fundamenta en las competencias de Ingeniería Mecánica (*Engineering Mechanics*, EM) que son prioritarias, no solo para la adquisición del grado correspondiente, sino que también para el futuro trabajo del profesional de la ingeniería.

Por otro lado, existen otros métodos para la evaluación de competencias de los egresados de los títulos [3] como puede ser EGEL (Examen General para el Egreso de la Licenciatura) o el EGETSU (Examen General para el Egreso del Técnico Superior Universitario), ambos desarrollados en México, donde se hace un examen específico para el dominio de interés de los conocimientos y habilidades adquiridas sobre el estudio. De la misma forma existen otros cuestionarios para la evaluación de las competencias adquiridas como, por ejemplo, el denominado *First Destination Supplement* en el Reino Unido, que evalúa las competencias ocupacionales seis meses después de la graduación. Estudia cuántos graduados encuentran empleo, los tipos de empleo que han obtenido y cuántos continuaron los estudios.

El objetivo del presente documento es, basándose en todas estas experiencias de evaluación de competencias a alto nivel aplicadas al entorno de la educación superior, cómo se podría aplicar para la evaluación de una asignatura troncal del Área de Mecánica de Fluidos de forma que el profesorado estuviera completamente seguro de que todos los estudiantes que han superado la asignatura han adquirido todas las competencias necesarias, permita una evaluación continua y autónoma del alumnado y además, suponga un trabajo mínimo del profesor. Este último objetivo es ideal pero es posible aproximarse a él, no sin un alto grado de participación por el profesorado para construir una asignatura con el conjunto de problemas y cuestiones teóricas que cubran los objetivos de aprendizaje en su totalidad.

2. Evaluación de competencias

Existe un trabajo reciente que trata el tema del modelado y la medida de competencias en educación superior [2]. En él se indica, que a pesar de la convergencia Europea, la evaluación de competencias en educación superior es un campo de investigación que no se ha desarrollado suficientemente. Este déficit se debe a la complejidad de las competencias académicas en la educación superior. No solamente existen una gran variedad de instituciones, programas, campos de ocupación y tipos de trabajo, sino que además, los resultados son difícilmente medibles. De esta forma, el déficit existente en el desarrollo de esta investigación está causado en parte por la complejidad que caracteriza las competencias académicas de los estudiantes de grado, máster o doctorado, debido a la diversidad de los modelos de estudio internacional e intranacional, las estructuras educativas, el rendimiento de la enseñanza, etc.

La competencia se puede ver como una idea, una construcción creada por las sociedades; no es directamente observable. En cambio, se puede inferir del rendimiento observable en un conjunto de tareas extraídas de un dominio concreto de interés, como puede ser un trabajo o una disciplina de estudio. La competencia se puede ver como una habilidad compleja que está íntimamente relacionada con el desempeño personal en una situación de la vida real. Las tareas y respuestas que sirvan para la medida de la competencia tienen que cumplir el siguiente criterio general:

Aprovechar las complejas habilidades físicas y/o intelectuales y producir un rendimiento observable en una serie de tareas estandarizadas, comunes a todo el alumnado, que representen con gran fidelidad situaciones del “mundo real” de las cuales se puedan obtener resultados con puntuaciones que reflejen el nivel de habilidad en dichas tareas, y además que permitan obtener mejora mediante la práctica deliberada. Todo este proceso de observación debe cuantificarse con garantías.

Por todo lo indicado anteriormente, está claro que la evaluación de competencias de alto nivel es algo complejo, pero que la forma de realizarlo pasa por crear tareas fácilmente medibles de habilidades del alumnado, que permitan conocer el grado de adquisición de las mismas. Una aplicación de lo aquí descrito es lo que se desarrolla en los siguientes apartados.

3. Planificación de la evaluación

La asignatura sobre la que se va a programar esta evaluación por competencias *online* es la asignatura Biomecánica II: Fluidos, del Grado en Ingeniería de la Salud, especialidad en Ingeniería Biomédica. Esta titulación está integrada dentro de la Escuela de Ingeniería Informática de la Universidad de Málaga y es una de las titulaciones con mayor nota de acceso de la Universidad de Málaga. Se va a utilizar el método de KOM-ING descrito anteriormente, siguiendo el desarrollo descrito en Musekamp et al. [4] para el caso de Ingeniería Mecánica, pero

en este caso aplicado a la asignatura de Mecánica de Fluidos. Para ello, habrá que acceder a la Memoria de Verificación del título y comprobar las competencias que se han de desarrollar en la asignatura, descritas en la tabla 1. Como puede observarse, las competencias generales que se incluyen en la asignatura no solo se han de desarrollar en esta, sino que deben de desarrollarse a lo largo de la carrera. Además son difícilmente medibles, puesto que se refieren a habilidades muy generales de difícil desarrollo a lo largo de la asignatura. Sirvan como ejemplo el desarrollo de las habilidades de aprendizaje para estudiar con autonomía, la creatividad, la capacidad para diseñar sistemas o las habilidades de organización, entre otras. En cuanto a la competencia específica es totalmente general y en ella casi todo cabe: “Capacidad para la resolución de los problemas característicos de la teoría de medios continuos que puedan plantearse en la ingeniería y la biomedicina. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre mecánica de fluidos y teoría del transporte en medios continuos de carácter biológico”. Es evidente, que tal como están redactadas las competencias en la memoria del título, una evaluación por competencias es difícilmente aplicable, por la generalidad de las habilidades a desarrollar y además poco factible, por la imposibilidad de medir los resultados de aprendizaje de una forma precisa.

Del mismo modo, en la propia Memoria de Verificación del título también está impuesto el contenido que ha de desarrollarse a lo largo de la asignatura. Es por esto, que a la hora de realizar la programación docente se prefiere establecer en primer lugar los Objetivos de aprendizaje, que son realmente la traducción inglesa de *Learning Outcomes*, que han de ser específicos y fácilmente medibles. Una vez claros los objetivos de aprendizaje, se diseña el contenido de la asignatura y la metodología docente para conseguirlos. Si una persona ha adquirido todos los objetivos de aprendizaje, es evidente que debe de haber adquirido las competencias necesarias para superar la asignatura. En esta asignatura introductoria de Mecánica de Fluidos se establecen los siguientes Objetivos de Aprendizaje:

OA1.- Resolver problemas de balance mediante volúmenes de control para flujo de fluidos que puedan plantearse en la ingeniería y la biomedicina.

OA2.- Resolver problemas de flujo laminar aplicado a la ingeniería y la biomedicina.

OA3.- Resolver problemas de flujo ideal para líquidos y gases que puedan plantearse en la ingeniería y la biomedicina.

OA4.- Resolver problemas de flujo turbulento aplicado a la ingeniería y la biomedicina.

OA5.- Resolver numéricamente problemas de ecuaciones diferenciales que surgen de el modelado de problemas en Mecánica de Fluidos, así como usar programas de cálculo computacional para resolver el flujo de fluido en problemas reales.

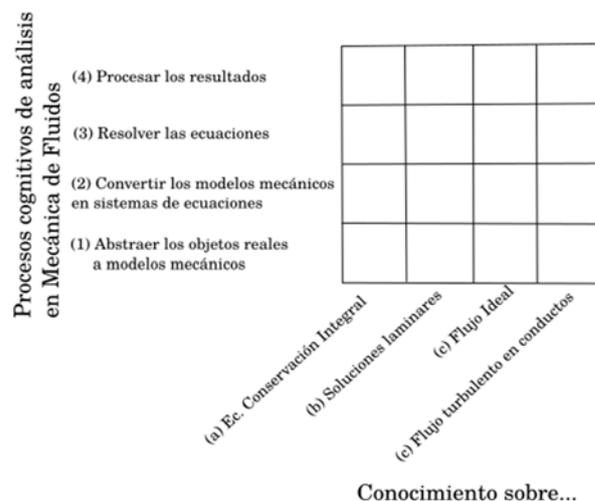
El último de los objetivos de aprendizaje se desarrolla mediante una práctica que permite analizar el flujo a través de una bifurcación aórtica usando un programa de cálculo numérico comercial como es ANSYS-Fluent.

Los demás objetivos de aprendizaje (ver modelo de competencias en Mecánica de Fluidos en la figura 1) parten de un contenido teórico que los estudiantes han de comprender y ser capaces de abstraerlo para aplicarlo a un modelo de Mecánica de Fluidos (1), posteriormente transformar ese modelo mecánico en ecuaciones matemáticas (2), resolver las ecuaciones (3) y evaluar los resultados (4). Los cuatro conocimientos en lo que se basa la asignatura son: (a) las ecuaciones de conservación en forma integral, (b) ecuaciones de flujo laminar, incluyendo Poiseuille, Couette y Hagen-Poiseuille, (c) flujo ideal en líquidos y gases y (d) flujo turbulento en conductos. Cualquier persona que sea capaz de desarrollar los cuatro niveles cognitivos (1)-(4) en las cuatro partes de la asignatura (a)-(d), se puede decir que ha sido capaz de adquirir las competencias y habilidades en el curso introductorio en Mecánica de Fluidos.

En la actualidad, se evalúa la adquisición de los conocimientos (1)-(4) mediante un examen de dos ejercicios. El examen en sí no es capaz de evaluar todos los objetivos de aprendizaje puesto que han de ser problemas lo suficientemente sencillos como para poder ser realizados por un estudiante en aproximadamente hora y media cada uno. De la misma forma, el contenido principal de Mecánica de Fluidos está desarrollado en los procesos cognitivos (1) y (2). Resolver las ecuaciones diferenciales obtenidas es una competencia que debían tener adquirida de los cursos anteriores de Cálculo y Ampliación de Cálculo, pero la experiencia muestra que una gran mayoría han superado la asignatura sin poseer dichas habilidades. De esta forma, en la evaluación de la asignatura, y tras todas las experiencias de años anteriores, se optó por separar cada problema en distintos apartados, de forma que los que corresponden a los procesos (1)-(2) son suficientes para poder aprobar la asignatura, y después los procesos (3)-(4) son los que permiten obtener mejores calificaciones. El problema de esta configuración es que depende mucho de la dificultad del examen en cada convocatoria, la capacidad de cada promoción de estudiantes y la subjetividad en la corrección del propio docente. Esto es lo que nos hizo pensar que tal como está estructurada la asignatura, se puede plantear una solución de evaluación de competencias mucho más precisa y justa para el alumnado, que al mismo tiempo genera mucho menor trabajo en el profesorado, una vez se finalice con éxito el trabajo de una evaluación continua que recoja todos los aspectos requeridos en los objetivos de aprendizaje.

Tabla 1: Competencias del título para la asignatura Biomecánica II.

Competencias generales y básicas.	
CB5	Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
CG04	Capacidad para diseñar sistemas, dispositivos y procesos para su uso en aplicaciones médicas, de atención sanitaria o biológicas.
CG08	Capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, autonomía y creatividad.
CG09	Conocimiento y aplicación de elementos básicos de organización y planificación en el ámbito de la empresa y otras instituciones, de gestión de recursos humanos, así como la legislación, regulación y normalización en el ámbito de los equipos médicos, las instalaciones sanitarias y los sistemas de información clínicos y biológicos.
CG10	Capacidad para comunicar y transmitir los conocimientos y conclusiones en el ámbito de la ingeniería de la salud, a público especializado y no especializado, de un modo claro y preciso.
CG11	Capacidad de expresión oral y escrita en un segundo idioma (inglés)
Competencias específicas. Mención Biomédica	
CE-IM-03	Capacidad para la resolución de los problemas característicos de la teoría de medios continuos que puedan plantearse en la ingeniería y la biomedicina. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre mecánica de fluidos y teoría del transporte en medios continuos de carácter biológico.

**Figura 1:** Esquema KOM-ING para la evaluación de competencias en la asignatura de Mecánica de Fluidos de 1 Grado en Ingeniería de la Salud.

4. Ejemplo de aplicación

Como se ha indicado, se puede considerar que los dos primeros niveles cognitivos (1) y (2) son los que realmente se desarrollan en Mecánica de Fluidos, que consisten en ser capaz de abstraer de un problema real para plantear un modelo mecánico y posteriormente, transformar este modelo en un sistema de ecuaciones a resolver. Esto es lo que se pretende resolver mediante la evaluación por competencias propuesta.

La idea de esta propuesta proviene de la evaluación que se realiza en Mecánica de Fluidos en el Grado de Ingeniero Aeronáutico de la Universidad Politécnica de Madrid. En ese caso, para facilitar la corrección de los exámenes, se plantean problemas no excesivamente complejos, y 5 minutos antes de la entrega del ejercicio, se le dan las múltiples posibles respuestas tipo cuestionario. De esta forma los estudiantes han de desarrollar sus razonamientos por libre y solo podrán acceder a las respuestas al final, lo que facilita que no basen sus razonamientos en las posibles respuestas desde el principio. El problema que tiene esta evaluación es que todo el peso se basa en un examen final. Lo que se propone en este trabajo es la realización de una batería de 80 problemas sencillos que evalúen los conocimientos mínimos para poder aprobar la asignatura, para cada una de las cuatro partes de la misma (a)-(d). El alumnado, a lo largo del curso, puede acceder a la evaluación en horario de tutorías del docente, tutorías que se celebrarán en un aula de ordenadores. Los alumnos tendrán que realizar al menos 10 problemas por objetivo de aprendizaje y tener al menos un 80% de los mismos bien. De esta forma, la evaluación es continua durante todo el curso, se puede hacer de forma autónoma por el alumnado, evita la corrección de exámenes por parte del docente y además, se adecua al nivel de cada estudiante; habrá algunos que con 10 preguntas sean capaces de demostrar la adquisición de las habilidades para un mismo objetivo y otros tendrán que realizar un número mayor de ejercicios. Cada año se podrán incluir nuevas preguntas que irán engrosando la batería de problemas de la asignatura. Si dicha experiencia funcionara correctamente, se podría extender a las asignaturas troncales de Mecánica de Fluidos del área (con más de 600 alumnos en total), permitiendo que la evaluación tenga lugar al mismo tiempo para varias asignaturas distintas, y se pueda repartir el tiempo presencial en el aula de ordenadores entre los docentes de todas ellas, ahorrando tiempo para todos los docentes implicados. Un ejemplo de pregunta para el objetivo de aprendizaje OA4 de flujo turbulento en conductos es la que se presenta en la figura 2.

Se tiene una instalación como la de la figura, en la que se pretende subir el agua desde un depósito cuya superficie libre está situada a una altura H_1 hasta otro cuya superficie libre está situada a una altura H_2 sobre un montículo de altura L . Se utilizará una bomba de potencia $W = Q(C_1 - C_2^2)$ que moverá el fluido desde un depósito al otro mediante una tubería de longitud L , diámetro D y coeficiente de fricción λ constante. Se pide encontrar el caudal que vehicula la instalación ($\alpha = 8\rho/(\pi^2 D^4)$).

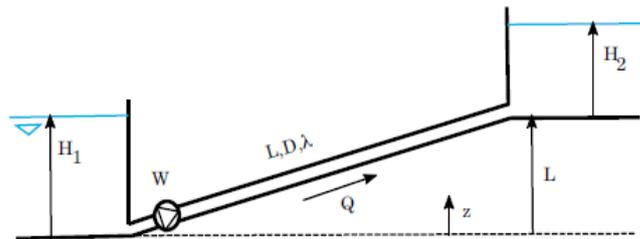


Figure 1: Esquema de impulsión mediante bomba de la instalación.

1. $Q = \sqrt{\frac{C_1 + H_1 - (L + H_2)}{C_2 + \alpha(1 + \frac{\lambda L}{D})}}$,
2. $Q = \sqrt{\frac{C_1 + H_1 - H_2}{C_2 + \alpha(1 + \frac{\lambda L}{D})}}$,
3. $Q = \sqrt{\frac{C_1 + H_1 - L}{C_2 + \alpha \frac{\lambda L}{D}}}$,
4. $Q = \sqrt{\frac{C_1 + H_1 - (L + H_2)}{C_2 + \alpha \frac{\lambda L}{D}}}$,
5. $Q = \sqrt{\frac{C_1 + H_1 - L}{C_2 + \alpha \frac{\lambda L}{D}}}$,
6. $Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{\alpha \frac{\lambda L}{D}}}$,

Figura 2: Ejemplo de pregunta del cuestionario junto con las posibles respuestas

Por supuesto, habrá que modificar el método de evaluación de la asignatura y se propone el siguiente:

- 1) 50% Cuestionarios sobre los objetivos de aprendizaje de la asignatura. Es necesario aprobar estos cuestionarios para superar la asignatura.
- 2) 30% Prácticas de la asignatura.
- 3) 20% Proyecto para mejora de calificación.

Se ha incluido un proyecto para mejorar la calificación en la asignatura. El proyecto planteado debe permitir demostrar las aptitudes del alumno para la resolución de los procesos cognitivos más elevados, como son la resolución de las ecuaciones diferenciales del problema y el análisis de los resultados. No todos los estudiantes aspirarán a esa mejora de calificación, con lo que el trabajo del docente, no aumenta, y además, con esta nueva configuración, el profesorado sabe que todo el alumnado ha adquirido las competencias necesarias para aprobar la asignatura y además, toda la evaluación es continua.

5. Conclusiones

En este trabajo se muestra una propuesta de evaluación por competencias de una asignatura troncal en el área de Mecánica de Fluidos. Como se ha indicado, el examen, que es el tipo de evaluación que se ha utilizado históricamente en el área para las asignaturas troncales, tiene ciertas limitaciones porque no asegura que el estudiante haya adquirido todas las competencias necesarias para aprobar la asignatura. Esto ocurre cuando la programación docente se diseña pensando en el contenido en vez de hacerlo con los objetivos de aprendizaje en mente. Una vez se establecen unos objetivos de aprendizaje claros y asequibles, que correspondan con las habilidades mínimas que un estudiante al superar la asignatura, se puede plantear un método de evaluación que certifique la adquisición de las mismas. En la asignatura sobre la que se plantea el ensayo, Biomecánica II: Fluidos, de tercer curso de Grado en Ingeniería de la Salud, especialidad en Ingeniería Biomédica, se han establecido 5 objetivos de aprendizaje de los que uno de ellos se evalúa a través del contenido práctico. Para la evaluación de los demás objetivos de aprendizaje se propone la creación de una batería de cuestionarios prácticos con múltiples respuestas que han de ser resueltas en el aula de ordenadores bajo la vigilancia del docente. Esta metodología permite la evaluación continua, desarrolla el aprendizaje autónomo del alumnado y tiene como ventaja la reducción del trabajo de corrección del docente. Sin embargo, la principal desventaja es que no existe ninguna aplicación incluida en el campus virtual de la Universidad de Málaga que permita realizar el ensayo, lo que va a obligar al desarrollo de una aplicación web ad-hoc para la aplicación propuesta.

6. Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado en el marco de colaboración docente del proyecto de innovación educativa PIE19-079: "ComQuiz: Evaluación por competencias mediante cuestionarios online".

7. Referencias

- [1] A Tuning-AHELO Conceptual Framework of Expected Desired/Learning Outcomes in Engineering", OECD Education Working Papers, No. 60, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5kghtchn8mbn-en>.
- [2] Blömeke, S., Zlatkin-Troitschanskaia, O., Kuhn, C., & Fege, J. (2013). *Modeling and measuring competencies in higher education*. Sensepublishers, Rotterdam.
- [3] Nusche, D. (2008), "Assessment of Learning Outcomes in Higher Education: a comparative review of selected practices", *OECD Education Working Papers*, No. 15, OECD Publishing, Paris.
- [4] Frank Musekamp & Jacob Pearce (2015) Assessing engineering competencies: the conditions for educational improvement, *Studies in Higher Education*, 40:3, 505-524,