

Clases prácticas: Una herramienta esencial en la enseñanza de las ingenierías en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior



Ignacio López-Paniagua
Rafael Nieto-Carlier
Javier Rodríguez-Martín
Celina González-Fernández
Ángel Jiménez-Álvarez

Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ETSI Industriales. Calle José Gutiérrez Abascal, 2 – 28006 Madrid. Tfno: +34 913 363151. ilopez@etsii.upm.es

Recibido: 27/01/2011 • Aceptado: 21/03/2011

Practical sessions: A key tool for teaching in the European Higher Education Area framework

ABSTRACT

• New degrees adapted to the so called European Higher Education Area (EHEA) arising from the Bologna Declaration of 1999 have begun to be widespread taught in the academic year 2010-2011. This has brought about a small revolution in universities, regarding that the modification of well-established methods and concepts has been required. Being aware of the new requirements, many educational centres have conducted pilot courses during previous years, with the aim of making the transition as smooth as possible.

One of the new concepts used is the focus on the hours that an undergraduate student dedicates to the understanding of a subject, including all activities undertaken in this context (theoretical classes, practical classes, labs, group work, site visits, independent study, examinations, etc ...), as well as the promotion of a more applied teaching. Another new feature is the inclusion of the acquisition by the student of the so-called transversal skills (teamwork, goal planning, public speaking, etc.) among the objectives of a course, besides the particular knowledge and specific skills of the subject.

In this article, two experiences that the Group of Educational Innovation on Applied Thermodynamics at Industrial Engineering School of Industrial Engineers of Madrid has made to adapt the teaching of Thermodynamics in this new European framework are described. They are thought to be fully exportable to other areas of engineering. So on, in the first activity, some basic concepts are now acquired in a lab activity that replaces a master class. For that purpose, the previous restatement of the lab session is needed, because traditionally the theoretical concepts had been acquired by the students before attending it. The second activity is designed to acquire some of the transversal skills the engineer is supposed to have at the beginning of his professional career, and which, in the new context, must be incorporated in the teaching objectives and even must be evaluated.

• **Keywords:** European Higher Education Area, EHEA, Thermodynamics, engineering education, problem based learning, horizontal competences.

RESUMEN

En el curso académico 2010-2011 se han comenzado a impartir, de forma generalizada, las nuevas titulaciones adaptadas al denominado Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) que surge de la declaración de Bolonia del año 1999. Esto ha supuesto una pequeña revolución en la universidad, que ha requerido la modificación de métodos y conceptos muy establecidos. Conscientes de las nuevas exigencias en muchos centros se han realizado durante los cursos previos experiencias piloto con el objeto de que la adaptación se realizase de la forma más suave posible.

Uno de los nuevos conceptos que se manejan es contabilizar las horas que un alumno de Grado dedica a la comprensión de una asignatura, donde se incluyen todas las actividades realizadas en el contexto de ésta (clases teóricas, clases prácticas, laboratorios, trabajos en grupo, visitas a instalaciones, estudio personal, realización de exámenes, etc.) fomentando además que la enseñanza tenga una faceta aplicada más pronunciada. Otra novedad es incluir entre los objetivos de una asignatura la adquisición, por parte del alumno, de las denominadas competencias transversales (trabajo en grupo, planificación de objetivos, hablar en público, etc.) que acompañan a los conocimientos y competencias específicos.

En este artículo se describen dos experiencias que desde el Grupo de Innovación Educativa *Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial*

de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid se han realizado para adecuar la enseñanza de la Termodinámica a este nuevo marco europeo y que son totalmente exportables a otras áreas de la Ingeniería. Así en la primera actividad se adquieren conceptos básicos, sustituyendo una clase magistral por la realización de una de las prácticas de laboratorio, lo que lleva asociado el replanteamiento previo de ésta ya que tradicionalmente se acudía a las mismas con los conceptos teóricos adquiridos. La segunda actividad está diseñada para adquirir algunas de las competencias transversales que al ingeniero se le presuponían cuando comenzaba su carrera profesional, y que ahora sin embargo tienen que incorporarse a los objetivos docentes e incluso ser evaluadas.

Palabras Clave: Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, Termodinámica, enseñanza de ingenierías, aprendizaje basado en problemas, competencias transversales.

1. INTRODUCCIÓN

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) es desde el curso académico 2010-2011, una realidad generalizada en todas las titulaciones universitarias. Este hecho ha supuesto la creación de nuevos títulos, la aplicación de nuevas metodologías tanto en la enseñanza como en el aprendizaje y, también, la incorporación de procesos de evaluación más complejos. Todo ello con el objetivo final de facilitar la movilidad de alumnos y profesores y la convalidación de títulos en toda la Unión Europea.

Esta transformación de la universidad comenzó a gestarse con la Declaración de Bolonia en junio de 1999 y con ella se pretendía armonizar la educación universitaria con un nuevo escenario de conocimiento en el que no se pueden olvidar aspectos transversales como las relaciones económicas y culturales entre los diferentes países europeos.

No se puede concebir la universidad sin investigación, por ello surge también el Espacio Europeo de Investigación (EEI) que desde la Declaración de Londres en mayo de 2007 van alineados. Educación, investigación e innovación forman el denominado triángulo del conocimiento en el que los profesores universitarios deben enmarcar sus actuaciones. Así se debe concebir asignaturas que aporten los conocimientos necesarios de la titulación y formen en determinadas competencias empleando la metodología más adecuada, todo ello con una dedicación del alumno que nunca debe sobrepasar lo previamente establecido.

Efectivamente, se abandona el dimensionado de las asignaturas, o mejor dicho de los contenidos de las mismas, en base a las horas lectivas de docencia clásica y se establece la unidad crédito ECTS (European Credit Transfer System) el cual equivale a entre 25 y 30 horas de trabajo del alumno (España, 2003), en el que se incluyen clases, estudio, prácticas, laboratorios, pruebas de evaluación etc. Se aprueba

además, que un curso académico tiene 60 créditos ECTS a repartir entre todas las asignaturas del mismo.

Este sistema supone en la práctica una disminución de las horas de clase. Por ello, para lograr un nivel de conocimientos y comprensión adecuados a la futura carrera profesional del alumno es necesario maximizar el rendimiento efectivo de las horas de clase teórica. También es necesario optimizar las clases prácticas de forma que el grado de complementariedad con las teóricas sea perfecto y sirva para potenciarlas. La situación se agrava si se tiene en cuenta que los ideales del EEES aspiran a incluir actividades para el desarrollo de competencias trasversales también dentro de la formación del alumno (ver Fig.1).

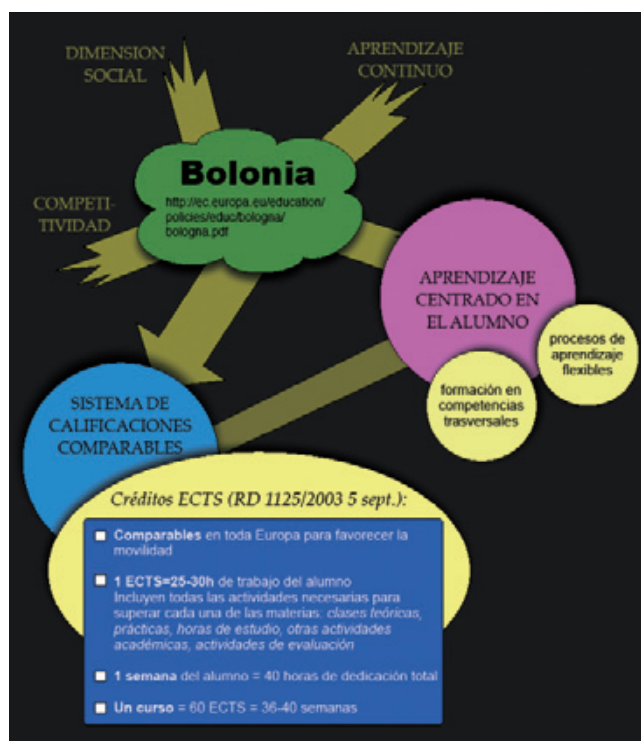


Figura 1: Espacio Europeo de Educación Superior

Aunque el panorama es complejo en toda la enseñanza universitaria, las disciplinas de ingeniería tienen una dualidad intrínseca entre el conocimiento *declarativo* (de cómo son las cosas) y el *procedimental* (de cómo se hacen) que las hacen especialmente difíciles (Cracolice, 2008). Además, aunque existen asignaturas aplicadas, en los primeros cursos muchas asignaturas (Álgebra, Cálculo o Ecuaciones Diferenciales) tienen contenidos abstractos que requieren que el alumno reflexione individualmente. Por ello, se ajustan con dificultad al planteamiento del EEES que llega a nuestras Escuelas importado de países anglosajones, Gran Bretaña y Estados Unidos (EFCE Engineering Bologna Recommendations, 2010). Por otro lado, también hay asignaturas que, partiendo del conocimiento de conceptos muy abstractos, se utilizan en numerosas aplicaciones industriales (Termodinámica, Mecánica o Física Avanzada).

Es en este tipo de asignaturas donde se puede realizar una mayor innovación en los métodos de enseñanza. Hay estudios previos donde se analizan para diferentes países europeos, comparándolos con Estados Unidos, la distribución de horas entre las diferentes actividades docentes programadas para lograr el éxito en una asignatura de las citadas y más concretamente en Termodinámica (Ahlström, 2008). Al profesor de la universidad española se le ha pedido un reparto de horas entre diferentes actividades junto con una estimación del número de horas que un alumno tipo debería dedicar a estudiar, teniendo en cuenta el diseño de la asignatura realizado. Además debe estimar la tasa de eficiencia esperada (cociente entre alumnos aprobados y alumnos presentados). Todo esto conservando la calidad en la formación de los egresados (Zamora-Polo, 2010), imprescindible en esta sociedad competitiva y con grandes retos.

No se puede olvidar tampoco que algunas ideas asociadas al EEES como el seguimiento pormenorizado del alumno, la evaluación continua y los trabajos colaborativos son difícilmente trasladables a ciertas asignaturas bien por su naturaleza o por el elevado número de alumnos en algunas Escuelas. Una implantación adecuada del modelo necesitaría llevar asociado la realización de un importante esfuerzo en mejorar recursos de muy diversa índole (Rovira-Mas, 2006) y este hecho hasta este momento no está contemplado.

En este trabajo se presentan dos experiencias realizadas por el Grupo de Innovación Educativa en Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial (GIE-TAII) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). La primera tiene por objetivo evaluar cualitativamente la capacidad de un método docente para ampliar el nivel de comprensión de la asignatura de Termodinámica en la titulación de Ingeniero Industrial y se ha realizado con un grupo de casi trescientos alumnos. La segunda experiencia está referida a la adquisición de algunas de las competencias transversales que las nuevas titulaciones garantizan que los egresados poseen; ha sido llevada a cabo con un grupo reducido de alumnos.

2. EXPERIENCIA A: SUSTITUCIÓN DE CLASES MAGISTRALES POR CLASE PRÁCTICA EN LABORATORIO

La experiencia piloto se propone teniendo en cuenta las recomendaciones subyacentes en la Declaración de Bolonia de dar mayor presencia en la programación de la asignatura a las clases prácticas e ir haciendo una transición progresiva (Lamancusa, 2006)

Así se ha realizado la sustitución de las clases magistrales en aula, donde se presentaban los fundamentos de los ciclos termodinámicos inversos y se hacían problemas, por una sesión en el laboratorio donde el alumno trabajará con un equipo que reproduce un ciclo de bomba de calor y un programa de simulación del mismo.

El planteamiento pedagógico es: utilizar conceptos previos teóricos para seguir avanzando en el conocimiento pero de una forma más aplicada, lo que se conoce en inglés como *problem-based learning* (PBL) o aprendizaje basado en problemas (Rouvrais, 2006). Teniendo en cuenta que los alumnos conocen los fundamentos de los denominados sistemas abiertos estacionarios en Termodinámica y que los ciclos no son más que un conjunto de sistemas abiertos interconectados entre sí, se suprimen de la programación de la asignatura las clases magistrales dedicadas a las bombas de calor, que son un tipo de ciclos, y los conceptos asociados se impartirán en la práctica de laboratorio ya existente. En la práctica supone sustituir 4 horas de clase en aula por 2 horas de clase práctica en el laboratorio.

El Grupo de Innovación Educativa Termodinámica Aplicada a la Ingeniería Industrial (GIE-TAII) ha realizado esta experiencia dentro de una línea de investigación de largo plazo en innovación educativa, cuyo objetivo es optimizar el aprendizaje de los alumnos. Para ello se ha diseñado y programado la práctica adecuándola al desarrollo de la asignatura, y además se han creado los medios técnicos necesarios para hacerla realmente representativa de los conceptos enseñados en clase. Así, los alumnos manejarán un equipo de bomba de calor, representado en la Fig.2, tomando medidas en diferentes puntos de funcionamiento. Después comprobarán estas medidas con las simuladas por la herramienta informática *CicloGraf* (Figura 3), desarrollada por los profesores del Grupo comparando su exactitud y tratando de explicar posibles diferencias.

Para llevarla a cabo, se ha adaptado para la docencia un software originalmente concebido para investigación (*CicloGraf*), se han incluido bases de datos y se ha programado algoritmos para poder operar con propiedades termodinámicas reales de las sustancias que intervienen en la práctica (Nieto-Carlier, 2010). Así la exactitud de las simulaciones es suficiente como para ilustrar perfectamente el funcionamiento del equipo real, lo que se considera fundamental para que el alumno vincule los contenidos teóricos de clase con la práctica y con las instalaciones industriales existentes.



Figura 2: Bomba de calor instrumentada utilizada en la práctica.

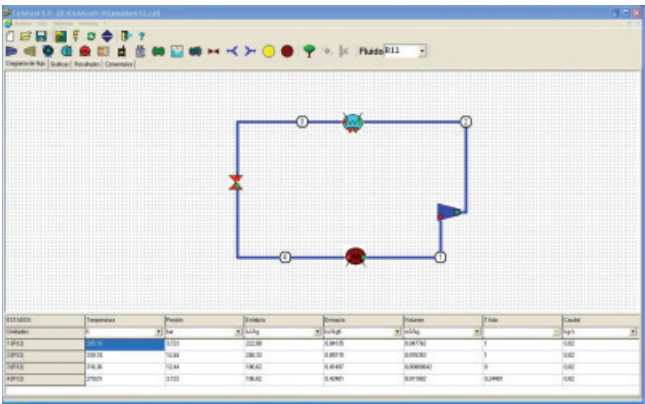


Figura 3: Pantalla principal del programa CicloGraf

2.1. ACTIVIDADES PROGRAMADAS

La práctica se divide en las siguientes fases:

- **f1: Explicación teórica breve.** Repaso de conceptos de sistemas abiertos e introducción de los específicos para el ciclo de la bomba de calor
- **f2: Comparación de la eficiencia de la bomba** funcionando con evaporador de agua o con aire, con caudal del 50% en el condensador
- **f3: Bomba funcionando con evaporador de aire:** toma de medidas y cálculo de eficiencias y calor producido para caudales de agua en el condensador de 100%, 75%, 50% y 30%
- **f4: Análisis de los datos obtenidos utilizando CicloGraf** y generación de los diagramas h-s y T-s del ciclo. Comparación con cálculos manuales y explicación de discrepancias
- **f5: Realización de una encuesta,** anónima y voluntaria a los alumnos. Ésta consta de 11 preguntas (ver Tabla2) y están dirigidas a cubrir cinco aspectos que los profesores consideran relevantes (ver Tabla 1).

Pregunta	Núm. respuestas	Media
1. Considera que el guión permite la comprensión de la práctica	251	6,63
2. La práctica se ajusta al programa de la asignatura	277	8,17
3. La práctica afianza los conceptos teóricos desarrollados en las clases	279	7,83
4. La duración de la práctica es adecuada	295	7,22
5. La realización de la práctica contribuye al aprendizaje de la asignatura	291	7,65
6. Los alumnos participan de forma activa en la práctica	295	7,98
7. Es útil la realización de la práctica	295	7,75
8. Ha aprendido algo en la práctica	296	8,24
9. La introducción teórica de la práctica es necesaria	295	8,50
10. Valoración general de la práctica	283	7,88
11. Valoración de los materiales	279	7,53

Tabla 2: Resultados de la encuesta realizada

Se observa que la puntuación más baja se refirió a la documentación aportada para la práctica, una primera versión que debía ser mejorada. La pregunta 2 (puntuación 8,17) se entendía como control; si los alumnos no hubieran percibido la coherencia del contenido de las clases con la práctica, se hubiese invalidado el estudio. Los resultados podemos analizarlos según los cinco aspectos o propósitos mencionados anteriormente (ver Tabla 3).

Propósito de la pregunta	Número pregunta
A. Control: Establecer si la encuesta y la experiencia son válidas	2
B. Aspectos prácticos. Obtener la opinión del alumno sobre el diseño de la práctica	1, 4, 11
C. Conexión con las clases. Obtener la percepción del alumno respecto a la relación entre los conceptos impartidos en clase y la práctica	1, 9
D. Influencia de la práctica en el proceso de aprendizaje de la asignatura.	5, 8
E. Coherencia de la práctica con puntos de documentos oficiales del EEES	6, 11

Tabla 1: Clasificación de las preguntas de la encuesta según propósitos.

Se incluyó la pregunta 10 con el propósito genérico de obtener una medida de la satisfacción del alumno con la práctica en su conjunto. La práctica se realizó con un total de 296 alumnos de Termodinámica II, del cuarto semestre de la titulación de Ingeniero Industrial, distribuidos en grupos de 20 personas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2 donde se incluye la puntuación media dada a cada una de las preguntas, valoradas de 0 a 10 por los encuestados.

Propósito de la pregunta	Media
A. Control.	8,17
B. Aspectos prácticos.	7,13
C. Conexión con las clases.	7,57
D. Influencia en aprendizaje de la asignatura	7,95
E. Coherencia con el EEES	7,76

Tabla 3: Análisis de los resultados según propósitos

2.2 DISCUSIÓN Y VALORACIÓN

La valoración de la experiencia debe contemplar los puntos de vista del alumno y del profesor. A partir de los resultados de la encuesta se puede observar que, a excepción de la pregunta de control, la nota más alta es la que se refiere a la influencia de la actividad en el proceso de aprendizaje de la asignatura. Éste era el aspecto principal en que se quería incidir con la experiencia, ya que se pretende conseguir que el alumno maximice su rendimiento, ante la lógica reducción de tiempo de clase que supondrá la implantación definitiva del EEES en cuanto al sistema de créditos ECTS.

Se obtuvo un buen resultado en cuanto a la evaluación del equipo empleado y la duración de la actividad, con la incidencia ya mencionada de la documentación. Este aspecto se interpreta como un indicador de lo adecuado del sistema empleado en esta experiencia para el proceso del EEES, ya que en los documentos oficiales se mencionan expresamente: enseñanza centrada en el alumno, participación activa de éste en el proceso de aprendizaje y medios adecuados.

Es conveniente mencionar que la calificación dada por los alumnos a los aspectos prácticos de la experiencia es significativamente más baja, aunque sigue siendo satisfactoria, debido fundamentalmente a la documentación y a su duración. Esto no se interpreta por los autores negativamente, al tratarse de una experiencia piloto, susceptible aún de ser mejorada en estos aspectos.

En general y sin perder de vista las mejoras necesarias, los alumnos están satisfechos con la práctica pero: ¿Cuál es la valoración de los profesores?

Por un lado está la satisfacción de haber conseguido la adquisición, por parte de los alumnos, de los conocimientos previstos en el temario sobre ciclos de bombas de calor con una reducción de las horas dedicadas por el alumno y contemplando además los aspectos vinculados a la realidad.

En el lado menos positivo está el esfuerzo y dedicación del profesor cuando se tiene que enfrentar a un número de alumnos matriculados elevado. La docencia del profesor ha pasado de ser 12 horas, cuatro horas en tres grupos de clase cada uno con cien alumnos, a ser 30 horas, dos horas de práctica a quince grupos cada uno con veinte alumnos. Es decir solo teniendo en cuenta la dedicación presencial se ha multiplicado por 2,5. A esto hay que añadir todas las horas previas dedicadas para el desarrollo de las herramientas necesarias para la realización de la práctica (programas informáticos, memorias de prácticas y encuestas). La conclusión es inmediata: el tiempo dedicado por el profesor a las labores docentes en las nuevas titulaciones va a ser mucho mayor.

3. EXPERIENCIA B: ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS TRANSVERSALES

Las competencias transversales son uno de los nuevos requisitos docentes más innovadores del nuevo panorama educativo derivado de la Declaración de Bolonia. En los planes de estudios renovados, se debe garantizar, a través de

las asignaturas programadas, la adquisición de las mismas. Todos los egresados de una titulación deben haber adquirido las competencias exigidas pero pueden haberlas obtenido de diferentes asignaturas.

Con esta segunda experiencia piloto se pretende desarrollar una actividad, diseñada para un grupo reducido de alumnos, con la que sea posible evaluar la acogida y la respuesta de los alumnos ante actividades centradas en la adquisición de estas competencias. Además como segundo objetivo esperamos que la experiencia sirva para mejorar la docencia en cursos futuros.

Buscando siempre la aproximación más aplicada a los temas y siguiendo las pautas establecidas para las nuevas titulaciones, se decidió que la actividad a desarrollar por los alumnos fuese diseñar una clase práctica basada en una turbina de gas de laboratorio.

En la experiencia participaron cinco alumnos de primer curso, recién ingresados en la Escuela al inicio de la actividad, y dos de cuarto curso. Todos ellos eran Becados de Excelencia de la Comunidad de Madrid (alumnos con expedientes académicos excepcionales). La experiencia se diseñó de forma que los alumnos tuviesen que ejercitarse en las siguientes actividades relacionadas con competencias transversales:

- Coordinación de equipos (especialmente alumnos de cuarto)
- Trabajo colaborativo
- Debate técnico y científico
- Búsqueda de conocimiento
- Tormentas de ideas
- Toma de decisiones técnicas
- Comprensión y manejo de bibliografía técnica en inglés.

Durante el desarrollo de la experiencia, los dos profesores tutores pretendían observar cuatro aspectos de interés:

- Motivación y actitud científica inicial de los alumnos
- Evolución de su motivación
- Respuesta a las actividades de trabajo en grupo mencionadas arriba
- Proceso de aprendizaje técnico.

Desde un punto de vista pedagógico, después de considerar varias alternativas, se optó por un método híbrido, basado en la teoría constructivista: *discovery learning*, *problem-based learning* (PBL), *guided-PBL* y *self-directed learning* (SDL) (Loyens, 2008). Se quiso experimentar con este tipo de métodos por la aparente aceptación que tienen entre los alumnos y algunos profesores, por sus posibles beneficios frente a las clases magistrales y por ser especialmente próximo a los paradigmas propuestos por el EEES (Ministers Responsible for Higher Education, 2009): aprendizaje centrado en el alumno, fomento de caminos de aprendizaje autodirigidos, enseñanza basada en competencias (Fadón-Salazar, 2009) etc.

Como resultados tangibles de la experiencia se obtuvieron: un guión de prácticas para futuros alumnos de

Termodinámica II, sobre un tema y con un enfoque ajustado a los alumnos, y un conjunto de informes individuales, en los que los alumnos resumían lo que habían aprendido en cuanto a técnica y también los aspectos no-técnicos que habían considerado de mayor interés. Los profesores, por otro lado, obtuvieron una visión de primera mano de la extensión y la forma de los conocimientos técnicos de los alumnos al llegar a cursar Termodinámica en segundo curso, y una perspectiva del potencial de este tipo de métodos en la enseñanza de la ingeniería industrial.

3.1. ACTIVIDADES PROGRAMADAS

Mediante el uso de una turbina de gas de aeromodelismo, montada en un banco de prácticas para su uso docente, Banco *Armfield CM-14* que aparece representado en la Figura 4, se plantea el objetivo de diseñar y elaborar un guión de una práctica de Termodinámica dirigida a alumnos de segundo curso de ingeniería industrial. Esta tarea será realizada por siete alumnos tutorados por dos profesores.

La turbina de gas está instrumentada con sensores de caudal másico de aire y combustible, y con sensores de presión y temperatura en los puntos principales del ciclo (*Brayton* con salida de gases por tobera). La turbina puede controlarse desde el ordenador-consola, que además ofrece estimaciones de empuje, cálculo de entalpías y entropías, captura de datos y representación gráfica en diversos tipos de diagramas termodinámicos (h-s, T-s).

Fig. 4: Turbina de gas para uso en prácticas de laboratorio



La duración total de la actividad fue de unos 0.88 ECTS, teniendo en cuenta que 1 ECTS se valora entre 25 y 30 horas de trabajo, se habrían utilizado aproximadamente 25 horas, de los cuales aproximadamente 10 horas (0.32 ECTS) fueron de trabajo propio de los alumnos, bien en equipo o bien individual. La distribución de los créditos ECTS aparece reflejada en la Fig. 5 y se detalla a continuación.

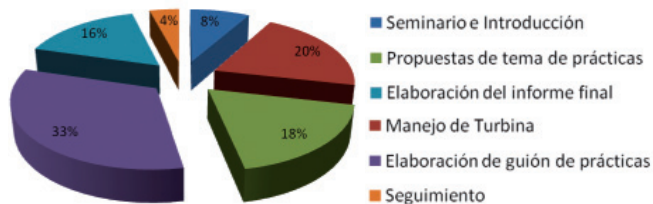


Fig. 5: Distribución de los créditos ECTS asignados a la actividad

1. *Seminario e introducción a los conceptos teóricos* (0.08 ECTS). La experiencia se presenta a los alumnos y se ofrece una introducción descriptiva a las turbinas, sus aplicaciones en la industria y su funcionamiento.
2. *Manejo de la turbina* (0.2 ECTS). Los alumnos usan el manual del equipo (en inglés) para aprender a configurar la aplicación de control del CM-14 con los parámetros de presión y temperatura necesarios, los procedimientos de arranque y parada y el manejo de la turbina en funcionamiento normal. También aprenden cómo mezclar combustible y lubricante. Una vez estas técnicas básicas están asimiladas, realizan los ejercicios incluidos en el manual para explorar los procedimientos de registro de datos.
3. *Propuesta de temas de prácticas* (0.18 ECTS). Se celebran varias sesiones de tormentas de ideas en que cada alumno propone ideas para el tema de prácticas y se discuten por el grupo para evaluar su representatividad técnica y su viabilidad. Una vez escogida una, se debate el modo de convertirla en una práctica, teniendo en cuenta el tiempo disponible para ella (dos horas), el número de alumnos que la realizará, su formación y criterios de seguridad.
4. *Elaboración del guión de prácticas* (0.32 ECTS). Esta parte de la experiencia combinaba sesiones presenciales con los profesores tutores, y trabajo de los alumnos. Los alumnos de cuarto coordinaron este último. En una primera etapa, los alumnos redactaron una versión inicial de guión de prácticas. Esta se debatió con los profesores y se identificaron puntos de mejora. La versión final se validó utilizándola como guía de prácticas por los alumnos, que realizaron íntegramente la práctica propuesta.
5. *Elaboración de un informe final* (0.16 ECTS). Cada alumno redactó un informe de estructura libre, en el que debía describir su proceso de aprendizaje durante la experiencia, identificar posibles dificultades y puntos de interés para el resto de los alumnos y valorar globalmente la experiencia.
6. *Seguimiento* (0.04 ECTS). Como última actividad se realizó una reunión donde los profesores sintetizaron los conceptos teóricos relacionados con la turbina, y los alumnos ofrecieron sus opiniones sobre la experiencia.

3.2. DISCUSIÓN Y VALORACIÓN

Es difícil sintetizar toda la información pedagógica que se ha obtenido de esta experiencia piloto. Hablaremos en primer lugar de los conocimientos que tenían los alumnos y de los que adquirieron realizando la experiencia y en segundo lugar de la adquisición de las competencias transversales previstas.

Los alumnos de primer curso comenzaron la actividad unas semanas después de su ingreso en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid y se mostraban inseguros respecto a los conceptos básicos de Física, en particular el de la *energía*. Les resultaba imposible

hacer razonamientos basados en él y tendían a utilizar las fuerzas. Sin embargo demostraban no haber asimilado bien el *principio de acción y reacción*. Como resultado, eran incapaces de explicar el principio de operación de la turbina en términos científicos. Durante la actividad se pudo comprobar que los alumnos iban afianzando progresivamente ambos conceptos. Los alumnos de cuarto manifestaron que la actividad les había ilustrado la aplicación de algunos conceptos introducidos al cursar Termodinámica en segundo, y utilizados en otras asignaturas posteriores como Motores Térmicos y Mecánica de Fluidos. Apreciaron una mejora en la comprensión de conceptos como la *entropía*, derivada de las conversaciones mantenidas con los profesores.

Todos los alumnos mencionaron como aspecto especialmente significativo la utilización y manejo de un equipo de laboratorio y del conocimiento y puesta en práctica de las normas de seguridad asociadas. El mayor énfasis lo pusieron en la familiarización con los sistemas de medida (termopares, *tubo de Pitot*, sondas de presión y galga extensométrica).

Respecto a las competencias transversales, señalar que en los debates, las tormentas de ideas, el trabajo colaborativo y las actividades prácticas de manejo del equipo, las principales competencias ejercitadas han sido: resolución de problemas, creatividad técnica, exposición y argumentación pública de planteamientos propios, comprensión de manuales técnicos en inglés, organización del trabajo y toma conjunta de decisiones. De forma secundaria, en la elaboración del guión de prácticas y en la redacción del informe técnico, se ha ejercitado la planificación de documentos técnicos.

Los alumnos de primero han mostrado reticencia a participar en los debates, especialmente al principio de la actividad. Posiblemente esto se debiera, dejando al margen la timidez, a la inseguridad con que manejaban los conceptos de Física elemental. Fueron incrementando su iniciativa con el transcurso de la experiencia, hasta que participaron casi normalmente en las últimas sesiones presenciales, proponiendo y argumentando ideas. Los alumnos de cuarto mostraron más facilidad en todos estos aspectos.

En cuanto al trabajo colaborativo, se detectó una falta de coordinación, especialmente en las etapas de propuesta de ideas para una clase práctica y en la realización del guión de la misma. Los alumnos no tomaron la iniciativa de reunirse previamente para preparar la reunión con los profesores, ni optaron por ninguna otra estrategia en grupo. En la primera parte de la etapa 4, donde se debía redactar un guión de prácticas, los alumnos de cuarto no coordinaron bien los dos equipos formados, y eso motivó que ninguna de las dos propuestas esperadas estuviese completa ni bien argumentada. Estos problemas se corrigieron al iniciarse la redacción del guión final, cuyas ideas y estructura salieron de un debate dirigido con los profesores.

Se ha apreciado una progresión en todos los alumnos respecto a su motivación y su actitud iniciales. Posiblemente, esto fue debido a que desarrollaron una familiaridad con los conceptos físicos de fuerza y energía, y también con el

manejo de equipos, que inicialmente no tenían junto con la constatación de las ventajas del trabajo en equipo respecto al individual.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado dos experiencias muy diferentes con un nexo común: la adecuación de la docencia actual a los planes renovados siguiendo las pautas que impregnan la Declaración de Bolonia.

La conclusión principal, y común a ambas, es que con la implantación de nuevos métodos de enseñanza y de nuevas actividades se puede conseguir una idéntica adquisición de conocimientos y además asegurar la formación en competencias transversales. Esto requiere del profesor un esfuerzo adicional para desarrollar material y también en horas dedicadas a su labor docente, que lógicamente se detraen de su actividad investigadora y de innovación. Será difícil responder al reto de conseguir una universidad de excelencia, en docencia e investigación, sin un aumento de recursos materiales y humanos.

Ambas experiencias se incorporarán al desarrollo normal de la asignatura en el curso 2011-2012 que será el primero en el que se impartirá la asignatura de Termodinámica en las titulaciones renovadas. Así tendrán que ser evaluadas y supondrán una parte de la nota final de la asignatura a través de la evaluación continua del alumno. En base a los datos ya obtenidos, se ha pensado en que contribuyan un 25% a la nota de evaluación continua, la cual contribuye a su vez en un 20% a la nota final. No obstante estos porcentajes podrían ser revisados en base a los datos y conclusiones que se obtengan de las experiencias actualmente en curso.

De la primera experiencia se puede concluir que la utilización de sesiones prácticas aplicadas, utilizando las instalaciones de laboratorios, en sustitución de clases magistrales es perfectamente viable. Esto lleva asociado una disminución de la docencia teórica para el alumno, siempre y cuando se puedan diseñar clases prácticas que se ajusten a los contenidos y objetivos de cada asignatura. Sin embargo, las sesiones prácticas no son una solución universal. La extensión o la propia naturaleza de algunas asignaturas no permitirá ejemplificar con prácticas todos los temas que abarca, o alcanzar el nivel de profundidad deseado.

Respecto a las competencias transversales, se propone la adquisición de algunas como: trabajo en equipo (que incluye debate y tormenta de ideas), manejo de bibliografía en otro idioma, coordinación de personas o toma de decisiones, utilizando el diseño de una práctica de laboratorio. Se observó un progreso notable en todos los alumnos en la competencia de trabajo en equipo, ya que los alumnos comenzaron con un desconocimiento claro de las ventajas y prácticas habituales del mismo.

Una conclusión notable es que la competencia transversal relacionada con la iniciativa, tanto en aspectos técnicos como organizativos, debe ser potenciada en otras actividades, ya que está poco desarrollada en los alumnos

de primero y mucho más en los de cuarto al igual que los aspectos relacionados con la coordinación. La función de guía de los profesores ha sido fundamental en la adquisición de estas competencias, incitando a la reflexión, identificando problemas y sugiriendo posibles causas.

Aunque existe abundante literatura que muestra resultados alentadores sobre PBL, la experiencia obtenida en la práctica cuyo objetivo principal era la adquisición de competencias transversales, si bien no puede ser concluyente por lo reducido del grupo de alumnos, sí induce a pensar en algunos posibles problemas asociados a este método de aprendizaje. La experiencia ha coincidido con algunos estudios (Kirschner, 2006) en tres puntos:

- Trabajar en una aplicación práctica contribuye a consolidar conceptos ya aprendidos.
- El nuevo conocimiento derivado de la actividad práctica es menos general que el obtenido por los métodos de enseñanza tradicionales (centrados en la epistemología de la disciplina).
- El guiado de los profesores ha sido positivo en cuanto a asegurar la corrección técnica de los conocimientos nuevos, e imprescindible para superar las dificultades, punto principal del método PBL, debido a la pasividad de los alumnos. Se ha observado poca capacidad para superarlas solos, especialmente en los de primero, por capacidades metacognitivas poco desarrolladas.

En conclusión, la implantación de actividades de este tipo en la docencia normal, aparte de difícil por cuestiones de medios y organización docente, ofrece dudas en cuanto a sus posibles ventajas desde el punto de vista de la transmisión de conocimiento técnico. Sí parece eficaz en cuanto al desarrollo de competencias trasversales en los alumnos y a la consolidación de conceptos previamente adquiridos.

Sería necesario estudiar en detalle la influencia de implantar este tipo de actividades, de forma continuada y complementaria a otras, en su capacidad de razonamiento técnico. El problema de la disociación entre el conocimiento declarativo y procedimental (Cracolice, 2008) explica en parte lo observado en la actitud de los alumnos a lo largo de la experiencia.

Otro aspecto a tener en cuenta para la programación de clases prácticas, es el número de alumnos que cursan la asignatura. Como conclusión final se puede decir que en el caso de un número elevado es posible la optimización del esfuerzo del alumno sustituyendo algunas clases magistrales por clases prácticas, como se ha presentado en la primera experiencia. Si el número de alumnos es reducido el objetivo de las clases prácticas puede ser más ambicioso e intentar cubrir también la adquisición de algunas competencias transversales, como en la segunda experiencia desarrollada en este trabajo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ahlström P, Aim K, Dohrn R et al. "A survey of Thermodynamics and Transport properties in Chemical Engineering Education in Europe and the USA". Proceedings of the 10 th Annual Meetings of the American Institute for Chemical Engineering. 2008.
- Comisión Europea. *The Bologna Declaration on the European Space for Higher Education: An explanation*. 29 de febrero de 2000. Disponible en Web: <<http://ec.europa.eu/education/policies/educ/bologna/bologna.pdf>>
- Cracolice Mark S, Deming John C, Ehler B. "Concept Learning versus Problem Solving: A Cognitive Difference". *Journal of Chemical Education*. Junio 2008. Vol. 85, nº 6.
- Fadón-Salazar F, Cerón-Hoyos JE et Vallejo-Lobote E. Programación basada en competencias: Implantación en ingeniería gráfica. *Dyna*. Marzo 2009. Vol. 84, nº 2.
- Kirschner PA, Sweller J, Clark RE. "Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching". *Educational Psychologist*. 2006. Vol. 41, nº 2, p.75-86.
- Lamancusa JS. "Design as the bridge between theory and practice" *Int. J. Engineering Education*. 2006. Vol. 22, nº 3, p. 652-658.
- Loyens SMM, Magda J, Rickers RM J P «Self-Directed Learning in Problem-Based Learning and its Relationships with Self-Regulated Learning». *Educational Psychology Review*. Diciembre 2008. Vol. 20, nº 4, p. 411-427.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Real Decreto 1125/2003 de 5 de septiembre. *Boletín Oficial del Estado*. Jueves 18 de septiembre de 2003, nº 224, p. 34355-34356.
- Ministers Responsible for Higher Education . *The Bologna Process 2020 - The European Higher Education Area in the new decade. Communiqué of the Conference of European Ministers Responsible for Higher Education, Leuven and Louvain-la-Neuve, 28-29 April 2009*. 29 de abril de 2009. Disponible en Web: <http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/Bologna/>
- Nieto-Carlier R, Rodríguez-Martín J, Jiménez-Álvarez Á, et al. Enlightening Thermodynamic Concepts in the Lab via Hardware and Software: the Case of a Heat Pump Cycle. *Proceedings of the International Conference of Education and New Learning Technologies (Barcelona, 5th-7th of July, 2010)* [CD]. 2010.
- EFCE Engineering Bologna recommendations. Three Cycle Degree System. Disponible en Web: http://www.efce.info/efce_media/downloads/EFCE_Bologna_Recpm_0905.pdf
- Rouvrais S, Ormrod S « A mixed project based learning framework : preparing and developing student competences in a French Grade Ecole" *European Journal of Engineering Education* 2006, Vol.1, nº1, p. 83-93.
- Rovira-Mas F. "Engineering Education: Importing Methodologies without their philosophical framework". INTED 2007 Proceedings ISBN: 978-84-611-4517-1.
- Zamora-Polo F, Román-Suero S et Sánchez-Martín J. De la eficacia a la sostenibilidad: Formar ingenieros responsables en el nuevo escenario educativo. *Dyna*. Octubre 2010. Vol. 85, nº 7.