



Enfoque “Aprendizaje Basado en Proyectos” para enseñar sistemas de potencia de gas y vapor*



Asier Aranzabal Maiztegui

Profesor del Departamento de Ingeniería de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
<http://www.ehu.es/tqsa> | asier.aranzabal@ehu.es

| Fecha presentación: 24/07/2014 | Aceptación: 13/10/2014 | Publicación: 23/12/2014

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar la experiencia y los resultados derivados de la aplicación del método Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL) en la asignatura Termotecnia de la Titulación de Ingeniería Química de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, para aprender sistemas de potencia de gas y vapor. Tras un análisis crítico de los resultados académicos de los alumnos que aprenden estos sistemas, se observa que la estrategia de enseñanza-aprendizaje tradicional, basada en clases “magistrales + clases de aplicación en una lista de ejercicios (totalmente acotados y con una solución única), estaba fallando. Ante esta situación se plantea un enfoque constructivista centrado en el alumno para que él mismo construya su aprendizaje activa y cooperativamente, y no escuchando clases magistrales, ni memorizando.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Proyectos, aprendizaje cooperativo, motores térmicos, sistemas de potencia, Ingeniería Química

Resum

L'objectiu d'aquest treball és presentar l'experiència i els resultats derivats de l'aplicació del mètode d'aprenentatge basat en projectes (PBL) de l'assignatura de Termotècnia de la titulació d'Enginyeria Química de la Universitat del País Basc/Euskal Herriko Unibertsitatea. Després d'un anàlisi crític dels resultats acadèmics dels alumnes que aprenen motors tèrmics, s'observa que l'estratègia d'ensenyament-aprenentatge tradicional, basat en classes magistrals + classes d'aplicació en una llista d'exercicis (totalment acotats i amb una solució única), està fallant. Davant d'aquesta situació, es planteja un enfoc constructivista centrat en l'alumne perquè ell mateix construeixi el seu aprenentatge activa i cooperativament, i no escoltant classes magistrals ni memoritzant.

Paraules clau: aprenentatge basat en projectes, aprenentatge cooperatiu, motors tèrmics, sistemes de potència, enginyeria química

Abstract

The objective of this paper is to present the experience and the results derived from the application of the method Project-based Learning (PBL) in an Engineering Thermodynamics course of the Chemical Engineering program at the University of the Basque Country (UPV/EHU). The critical analysis of the student's academic achievement showed the traditional lecture-based teaching approach was failing. Although exercises solving classed added some practical approach, they were too structured and constrained as to promote critical and metacognitive thinking. Then, lectures and exercises solving classes were replaced by a PBL approach, so that students could learn recursively, based on the experience and previous knowledge and also by social interaction, via construction and reconstruction of mental models.

Key words: Project Based Learning, Cooperative learning, heat engines, power systems, chemical engineering

* El autor desea agradecer al Servicio de Asesoramiento Educativo dependiente del Vicerrectorado de Calidad e Innovación Docente por la oportunidad de formarse en la metodología PBL en la Universidad de McMaster (Canadá) a través del programa BEHATU, y de aportar su experiencia como tutor en el programa ERAGIN (Programa de formación de profesorado en metodologías activas de enseñanza)



1. Introducción.

El Aprendizaje Basado en Problemas (Problem Based Learning o PBL) ha sido reconocido mundialmente como una estrategia de enseñanza-aprendizaje capaz de promover en los alumnos la adquisición de conocimientos, al mismo tiempo que desarrollan habilidades y aptitudes, tales como habilidad para resolver problemas, capacidad metacognitiva, habilidad de trabajo en equipo y de comunicación, etc. (Tomas, 2000; Mills 2003). Se ha descrito como una metodología docente que aporta numerosas ventajas frente a los métodos tradicionales. Consiste en que un grupo de estudiantes de manera autónoma, aunque guiados por el profesor, debe entender un escenario, encontrar la respuesta a una pregunta o solución a un problema de forma que en el empeño de resolverlo, los estudiantes tuvieran que buscar, entender e integrar y aplicar los conceptos básicos del contenido del problema, así como otros relacionados. De este modo, los estudiantes consiguen elaborar un diagnóstico de las necesidades de aprendizaje, construir el conocimiento de la materia y trabajar cooperativamente. Contrariamente a los métodos convencionales, en los que primero se expone la información y posteriormente se busca su aplicación en la resolución de un ejercicio, el PBL usa un problema para iniciar, enfocar y motivar el aprendizaje de nuevos conceptos.

Aunque fue creado en la Facultad de Medicina de la Universidad de McMaster en los años 60, esta estrategia de enseñanza-aprendizaje se ha extendido a casi todos los ámbitos universitarios, e incluso a ámbitos no universitarios. Actualmente, el acrónimo PBL abarca un amplio abanico de intervenciones educativas (Jonassen, 2008; Woods, 2012). En el ámbito de la Ingeniería Química, los ejemplos más conocidos son el desarrollado en el programa de Ingeniería Química de la Universidad de McMaster (Woods, 2012) y el de la Universidad de Aalborg (Mills, 2003; Søgaard, 2006).

El objetivo de este trabajo es presentar la experiencia y los resultados derivados de la aplicación del método PBL en la asignatura Termotecnia de la Titulación de Ingeniería Química de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (Resolución, 1998), como consecuencia de la necesidad de mejorar tanto la motivación, como el aprendizaje de los alumnos.

La estrategia de enseñanza-aprendizaje generalizada en la Titulación de Ingeniería Química y que actualmente, impera en el Grado de Ingeniero Químico, era y es el tradicional, basada en clases magistrales, seguido de clases para aplicación de lo expuesto en una lista de ejercicios, y finalmente una evaluación final de conocimiento teórico-práctico. Un análisis crítico de los resultados académicos de los alumnos (cursos 2002-2005) mostró que la estrategia de enseñanza-aprendizaje tradicional, presentaba las siguientes deficiencias:

- Un elevado número de alumnos no superaba la asignatura en su primera convocatoria (~ 20%).
- Se producía una asincronía temporal entre el aprendizaje individual de la teoría (habitualmente, en torno a las últimas semanas previas al examen) y las clases de ejercicios.
- Los estudiantes contemplaban el conocimiento científico y técnico como una colección fija e inmutable de hechos y fórmulas no relacionadas y con poca conexión con el mundo real.
- Sus estrategias de aprendizaje se fundamentaban en

habilidades de bajo nivel, tales como la memorización y utilización acrítica de los modelos matemáticos, en vez de aquellas de alto nivel como son el análisis, la síntesis y la autoevaluación.

- Normalmente, los estudiantes no usaban su conocimiento conceptual para analizar cualitativamente la situación problemática, ni planteaban una posible solución antes de comenzar las manipulaciones numéricas y algebraicas de las ecuaciones, ni razonaban la estrategia a seguir en la resolución, ni tampoco ponían en duda el resultado obtenido. Más bien trataban de buscar una receta o problema tipo, siguiendo un modelo operativista.

Estas actitudes difieren mucho de aquellas que se esperan de un ingeniero que debe enfrentarse a problemas complejos, en un mundo cambiante que exige un espíritu creativo y abierto, y por tanto, requiere la cualidad de "aprender a aprender", así como cualidades asociadas a la toma de decisiones y funciones de liderazgo, a planificar trabajos, a seleccionar y acotar variables, a trabajar con equipos multidisciplinares, etc. (ANECA, 2005). Analizando los ejercicios de aplicación, se encontró que sus enunciados no potenciaban el estilo de aprendizaje que motivase una actitud como la que se desea en un profesional:

- El tipo de situación problemática hacía casi siempre referencia a una situación académica y en pocas ocasiones a situaciones de un contexto cotidiano o profesional.
- La información que se presentaba en el enunciado era específica del contexto en el cual se ubicaba la magnitud pedida, incluía todos los datos y valores numéricos de los mismos y, además, muchas veces aclaraba las acotaciones y simplificaciones que era necesario realizar. No se planteaban preguntas abiertas que diesen pie a que los estudiantes analizaran, valorasen y acotasen la situación por ellos mismos. Este modelo de ejercicios es el que se reproducen en la mayoría de los libros de texto.
- No se consideraba el posible interés de resolver la situación problemática planteada.

Ante esta situación, se planteó la intervención en el aula con una estrategia de enseñanza-aprendizaje con enfoque constructivista centrado en el alumno para que él mismo construyese su aprendizaje activa y cooperativamente, y no escuchando clases magistrales, ni memorizando. Para ello, se planteó eliminar las clases magistrales y las clases de resolución de ejercicios, en sustitución de un único problema poco acotado y con una solución abierta, con el que enfrentarse y así producir el aprendizaje de la forma que se indica a continuación:

- emitiendo hipótesis,
- tomando conciencia de lo que sabe y necesita saber,
- tomando decisiones,
- analizando y evaluando los resultados,
- sintiéndose contextualizado en su profesión,
- encontrando la actividad desafiante
- aprendiendo de forma colaborativa y reduciendo el papel del profesor como única fuente de conocimiento. En este caso, se deseaba hacer valer el dicho de que el profesor debe despertar la curiosidad, no satisfacerla.

En la bibliografía existen pocos trabajos que expongan el empleo de la metodología PBL en áreas de la ingeniería ter-

modinámica. Probablemente, el trabajo más desarrollado sea el liderado por el profesor Nasr (2004a, 2005b) de la Universidad de Kettering (Michigan, EE.UU). El curso se organiza en torno a cuatro módulos, cada uno asociado a un motor térmico o sistema de potencia: 1. Motor de combustión interna; 2. Central térmica de vapor; 3. Turbina de gas; 4. Refrigerador por compresión de vapor. También Carlson (2005) del Rose-Hulman Institute of Technology (Indiana, EE.UU) presenta su asignatura organizada en torno a cuatro módulos PBL: 1. Diseñar un calentador de agua para una planta química; 2. Investigar sobre sistema de refrigeración y refrigerantes en 1935, 1985 y 2003; 3. Diseñar un refrigerante para la siguiente generación; 4. Diseñar un motor térmico a partir de un sistema experimental sencillo disponible.

2. Contexto de la aplicación.

La intervención se realizó entre 2009 y 2012 en la asignatura obligatoria de 3º curso de la Titulación de Ingeniero Químico de la Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea, denominada Termotecnia. Se trata de una asignatura común en la mayoría de los planes de estudios de ingenierías que contemplan el estudio de los motores térmicos o sistemas de potencia, con denominaciones diversas: termotecnia, termodinámica aplicada, ingeniería termodinámica, ingeniería térmica, ingeniería energética, etc. Los temarios de una y otra universidad pueden variar sustancialmente, tanto en el número de temas, como en el grado de intensificación de algunos temas en relación a otros. Uno de los objetivos básicos que se recogen en dichas asignaturas es que el alumno "aprenda a analizar y comparar procesos para la transformación de energía, en especial los que involucran la energía calorífica obtenida por reacción química y energía generada en los procesos de compresión y expansión", y que está asociado a los temas sobre motores o procesos cíclicos para producir potencia: ciclos de Rankine, Brayton, Otto y Diesel, principalmente. La transformación de la enseñanza de estos temas desde el enfoque tradicional al enfoque PBL es el objeto de este trabajo.

La asignatura tenía asignadas 60 horas presenciales, repartidas en 3 sesiones a la semana de dos sesiones de una hora cada una y una sesión de dos horas, durante 15 semanas. La duración de las sesiones de una hora es insuficiente para el estilo de aprendizaje cooperativo y con enfoque PBL, pero, como ocurre en muchos centros, la decisión sobre la distribución de horas semanales no está en manos del profesor sino de una comisión de coordinación o dirección que realiza los horarios en base a criterios de diverso índole, pero fundamentalmente, porque el método de enseñanza generalizado es el basado en clases magistrales. Lo mismo ocurre con la disposición de los pupitres y las sillas de los alumnos, atornillados al suelo y dispuestos en líneas paralelas y consecutivas desde la pizarra y/o pantalla hasta el extremo posterior del aula. Esta disposición no es adecuada para reuniones de grupos de más de 2 miembros. Afortunadamente, en los cursos 2010/11 y 2011/12 se consiguió que las clases de Termotecnia se impartieran en una de las pocas aulas disponibles con mesas y sillas móviles. La razón por la que ocurren estas circunstancias desfavorables para una buena ejecución del estilo PBL es que las iniciativas de cambio de metodología en la Universidad, aún hoy en día, parten casi siempre de la iniciativa del profesor y no de la dirección y coordinación de estudios, y por lo tanto la adaptación de las infraestructuras se produce a un ritmo lento. Carlson (2005) expresa una situación similar.

Otro aspecto a considerar es el número de alumnos, que afecta especialmente a la relación alumno/profesor, tal y como describe Woods (Woods, 2012). En el ámbito de la medicina cada grupo de 5-8 alumnos trabaja exclusivamente con un tutor, el cual actúa como facilitador del desarrollo de habilidades para razonar, para investigar, para resolver problemas, para reflexionar, para trabajar en grupo y ante situaciones clínicas (Hmelo-Silver, 2012). Sin embargo, en los cursos de ingeniería lo habitual es que haya un único profesor por cada 20 - 45 estudiantes, por lo que los alumnos trabajan sin tutor (Woods, 2012). En el presente trabajo, el número de estudiantes fue aun menor: 19 (2009/10), 7 (2010/11) y 14 (2011/12), lo cual favoreció la intervención PBL. En la Universidad de McMaster compensan esta diferencia con seminarios denominados "Problem Solving Program", en el que se trabajan especialmente habilidades interpersonales y de trabajo en equipo, así como de resolución de problemas, con el fin de que el grupo afronte el problema de forma auto-dirigida sin tutor (Woods, 2012). Una estrategia adicional empleada para asegurar la exigibilidad individual (evitar jetas y pasotas) es la autoevaluación y la evaluación por pares (Oakley, 2004).

Otro aspecto muy importante en el diseño de la estrategia de enseñanza-aprendizaje con enfoque PBL fue identificar los conocimientos y competencias adquiridas previamente, como punto de partida para afrontar la situación problemática a la que se sometían e identificar la necesidades de aprendizaje. Los conocimientos y competencias previas identificadas como afines al tipo de situación problemática a la que se les iba a enfrentar son las siguientes.

· *Operaciones Básicas de Ingeniería Química (2º curso, anual)*: Resolver problemas de balances de materia y energía en procesos químicos industriales. Calcular el rendimiento de un proceso químico industrial. Interpretar y realizar el diagrama de flujo de un proceso químico industrial. Identificar las variables de operación. Diferenciar entre proceso continuo y discontinuo, cualitativa y cuantitativamente.

· *Termodinámica Aplicada (2º curso, 1º cuatrimestre)*: Conocer las variables termodinámicas y su interrelación. Aplicar los principios básicos de la termodinámica para calcular el calor y el trabajo desarrollado por los procesos físico-químicos.

· *Mecánica de fluidos y transmisión de calor (2º curso, anual)*: Conocer los mecanismos de transmisión de calor. Conocer los equipos para la transmisión de calor y calcular variables para su diseño. Emplear el principio de conservación de cantidad de movimiento en procesos físico-químicos.

3. Diseño del problema.

Para conseguir los objetivos educacionales típicos del PBL indicados anteriormente, es fundamental un buen diseño del problema. Muchos autores coinciden en las características de un buen problema PBL (Jonassen, 2008):

1. Debe estar poco estructurado, permitiendo varias soluciones. De esta forma, ante la toma de decisiones se fomenta la discusión entre los miembros del grupo.
2. Debe ser complejo, en un nivel:
 - a. que resulte desafiante y motivador y así enganche el interés del estudiante.
 - b. que permita ser analizado desde diferentes puntos de vista y disciplinas.

c. que esté adaptado al conocimiento previo y al nivel cognitivo del alumno, con la intención de recuperar los conocimientos previos del alumno y encontrar andamiajes que faciliten la construcción de nuevos significados.

3. Debe ser auténtico, es decir, contextualizado en la práctica profesional para el que se está preparando.

Establecidas las características, el siguiente paso del diseño es establecer el tipo de problema. No se ha de perder de vista que el objetivo del problema no es resolverlo, sino el aprendizaje que se produce mientras se afronta su diagnóstico o solución. Los problemas PBL con éxito demostrado son los del tipo *Diagnosis-Solución*, empleados fundamentalmente en el campo de la medicina. La expansión del PBL a otras áreas de conocimiento ha originado otros tipos de problemas. Por ejemplo, los del tipo *Toma de Decisión, Análisis de Casos, de Diseño*, etc. (Jonassen, 2008). Los problemas de *Diseño* son los más empleados en el ámbito de la ingeniería, ya que poseen todos los atributos de los problemas poco estructurados, tales como, estar poco acotados, tener múltiples caminos de solución, tener múltiples soluciones, etc. El problema es generalmente un encargo en su contexto profesional, y por tanto lo habitual es que esté bien definido. El PBL con problemas de *Diseño* se denomina a menudo Aprendizaje Basado en Proyectos (Mills, 2003).

Establecidas estas premisas, se diseñaron 2 problemas de *Diseño (proyectos)* para alcanzar una de las competencias más importantes de la asignatura: "analizar y comparar procesos para la transformación de energía, en especial los que involucran la energía calorífica obtenida por reacción química y energía generada en los procesos de compresión y expansión". Estos dos problemas permitían abordar 5 temas del temario que conforman prácticamente el 50% de la asignatura. Por tanto la intervención de esta estrategia de enseñanza-aprendizaje, fue de 35 horas presenciales.

El proyecto 1 está relacionado con los motores con turbinas de vapor (ciclo de Rankine) y de gas (ciclo Brayton), así como con el tema de psicometría, mientras que el proyecto 2 está relacionado con los temas sobre motores de combustión interna: motores Otto y motores Diesel.

Previamente, se trabajaban los aspectos y conceptos básicos de la termodinámica, algunos como recordatorio de lo ya aprendido en asignaturas previas y otros nuevos o con enfoque novedoso. En estos temas se definen los conceptos termodinámicos (sistema, trabajo, calor, energía...), primer y segundo principio de la termodinámica, entropía y exergía. Los temas relacionados con los sistemas de refrigeración se trabajaban después de la intervención PBL. Todos ellos se enseñaban siguiendo el modelo tradicional de magistral + ejercicios de aplicación.

Proyecto n°1.

Con una pregunta motriz tal como, ¿Son las centrales térmicas de ciclo combinado la solución a la crisis energética y medioambiental actual?, el alumno ha de realizar un encargo tal como este:

Realiza el diseño termodinámico de central térmica de ciclo combinado con torre de refrigeración para producir 800 MW de electricidad.

Proyecto n°2.

Con una pregunta motriz tal como, ¿Qué es más barato y limpio, conducir un coche de gasolina, diesel o eléctrico? el alumno ha de realizar un encargo tal como éste:

El Gobierno está considerando la instalación de puestos de carga eléctrica para automóviles en los parking públicos con el objetivo de alentar al público al cambio de los tradicionales vehículos de gasolina y diesel por los nuevos vehículos eléctricos.

Realiza un análisis económico y de impacto medioambiental en base a la comparación de los tres tipos de vehículos (gasolina, diesel, eléctrico).

Para facilitar el diseño de los motores, toma como base que el automóvil opera en régimen estacionario y se mueven a una velocidad promedio de 100 km/h, y su carrocería es del tipo Opel Astra.

Son dos problemas de *Diseño*, poco estructurados, complejos y auténticos, de acuerdo con las características de un buen problema PBL, citadas anteriormente. Con ambos se pretende que el alumno alcance los siguientes resultados de aprendizaje:

1. Conocer las bases de funcionamiento de cada uno de los motores o sistemas de potencia que se citan y sus elementos.
2. Calcular potencias generadas/consumidas en cada uno de los elementos: potencia calorífica de la cámara de combustión, potencia mecánica producida en la expansión, potencia mecánica consumida en la compresión y potencia calorífica intercambiada con el medio. Emplear habilidades adquiridas previamente, tales como plantear y calcular balances de materia y energía.
3. Conocer las condiciones físicas (presión, temperatura) típicas de los fluidos de trabajo (vapor y gas) en los elementos clave de cada sistema de potencia. Calcular la cantidad de fluido de trabajo necesario y determinar su estado físico (volumen, fracción de vapor) y termodinámico (energía interna, entalpía y entropía), a través de cálculos, tablas y gráficas de propiedades termodinámicas.
4. Determinar la eficiencia energética y exergética de cada etapa del proceso y de cada motor (dominando los conceptos de conservación de energía, de irreversibilidad y de trabajo útil, respectivamente).
5. Determinar la cantidad de agua y aire de refrigeración en una torre de refrigeración, mediante balances de energía y cálculos psicométricos.

4. Metodología.

Los proyectos 1 y 2 se trabajaron consecutivamente, de forma que la experiencia del primero nutría al segundo. La intervención se inicia en la semana 3 y se prolonga durante 7 semanas, dedicando 25 y 10 horas presenciales a cada problema, respectivamente.

En la primera sesión (1 h) se hace una presentación de la forma de trabajo en el aula, destacando sobre todo el cambio respecto al método tradicional, a la que están acostumbrados. Se destacan también las ventajas de esta forma de aprender, y también los inconvenientes, tales como la sensación de incertidumbre en algunos momentos del trabajo y los problemas en el trabajo en grupo. Se insiste en que no tienen que realizar todo el trabajo de forma conjunta y simultánea, pero deben reunirse entre ellos varias veces a la semana. La organización de la asignatura asegura un mínimo de estas reuniones. La siguiente tarea corresponde a la lectura del texto de Oakley (2004), que culmina en que cada grupo establece un contrato de compromisos.

4.1. Proyecto 1.

En la siguiente sesión se presenta la pregunta motriz del problema 1 y se les invita a presentar su opinión al respecto, y así iniciar un pequeño debate entre todos los alumnos de la asignatura (1). Los alumnos que más saben del tema, introducen las ideas clave. El profesor recoge todas las ideas en la pizarra, con objeto de ayudar a los alumnos a retenerlas y así promover la generación de nuevas relacionadas con las ya expuestas. Para finalizar la sesión se presenta el encargo (proyecto 1).

Antes de iniciar la tercera sesión (1 h), se encomienda a los alumnos una tarea no presencial que consiste en hacer una búsqueda rápida y bruta en Internet de los conceptos del tema discutidos en la sesión 2 y que aparecen en el encargo (qué es un ciclo combinado, elementos del ciclo, ventajas y desventajas, etc.), para poder generar un conocimiento previo con el que realizar una tormenta de ideas en la tercera sesión. Empleando el mismo formato que en la sesión 2, el profesor recoge todas las ideas en la pizarra. A continuación se les pide que agrupen las ideas, y finalmente que establezcan aquellas aspectos del tema de estudio que necesitan profundizar y aprender (necesidades de aprendizaje) para poder ejecutar el encargo. Las necesidades de aprendizaje se agrupan en tres temas: 1. Ciclo de potencia Rankine; 2. Ciclo de potencia Brayton; 3. Torre de refrigeración y cálculos psicrométricos. Antes de finalizar la sesión el profesor muestra la fuente de información recomendada: el libro de texto *Termodinámica Técnica* de Moran (2000). Se trata de una obra bien narrada y organizada, con explicaciones claras y concisas, junto a numerosos ejemplos bien explicados y de complejidad gradual, lo cual convierte en agradable y casi idóneo para el auto aprendizaje. De esta forma, se consigue liberar el tiempo dedicado a impartir clases magistrales y dedicarlo a actividades dirigidas, como es el caso.

La siguiente tarea no presencial, previa a la cuarta sesión, es acudir a la Biblioteca y hacerse con la información requerida.

Para la cuarta y quinta sesión (2h) los alumnos están ya organizados en grupos de tres. El aprendizaje de la información se organiza como si se tratase de un puzle: a cada miembro se le asigna la lectura y comprensión de uno de los temas indicados previamente. Los alumnos disponen de tres horas presenciales para la realización de dicha tarea. A continuación le siguen dos horas presenciales para enseñar a los compañeros del grupo lo aprendido individualmente.

En la sesión novena los alumnos comienzan a planificar el método de resolución del problema. En este momento, se percatan de la necesidad de acotar muchas variables: temperaturas y presión del vapor y del gas en las turbinas, en el compresor, en el condensador, cantidad de potencia calorífica que se ha de generar en la cámara de combustión, cantidad de combustible a emplear, flujos de los fluidos de trabajo (vapor y agua), etc. Aprovechando esta circunstancia, se realiza la visita a la central térmica de ciclo combinado de la empresa Bizkaia Energía S.L. en Amorebieta-Etxano. Esta visita tiene dos partes. La primera, una exposición de los técnicos de la planta sobre su funcionamiento; la segunda, una visita guiada por la planta para observar sus elementos más importantes. Los alumnos deben aprovechar la ocasión para preguntar sobre las condiciones de operación de cada elemento a los técnicos, con el fin de poder acotar su problema.

A partir de este momento, los alumnos trabajan de forma autónoma, siendo ellos los que establecen los objeti-

vos parciales, la distribución de trabajo y los plazos. Progresivamente, dan forma al ciclo de potencia de Rankine y Brayton, en este orden o al revés, acotan las condiciones de funcionamiento del sistema, calculan las propiedades termodinámicas, calculan las potencias involucradas en cada sistema, etc. Integran sus cálculos y diagramas en el sistema íntegro de ciclo combinado y realizan una primera estimación de la potencia producida. Lo más probable es que el resultado no sea satisfactorio, tanto por que no se llega al objetivo de 800 MW o bien porque no se cumple la segunda ley de la termodinámica. Lo habitual es que se haya cometido algún error de cálculo, tanto en los balances como en la estimación de las propiedades termodinámicas, o por que alguna acotación o varias no son adecuadas. Deben detectar y comprender el error, realizan las modificaciones oportunas y volver a calcular, repitiendo el proceso hasta alcanzar un resultado satisfactorio. La mayor dificultad la encuentran a la hora de establecer los flujos de vapor y gas, hasta que se percatan de que uno depende del otro, en el balance de energía en la caldera de recuperación. Algunos alumnos se conforman con la configuración básica de los ciclos de potencia, mientras que otros deciden introducir elementos tales como, recalentamientos intermedios y sistemas de regeneración para aumentar la eficiencia de la planta, a pesar de complicar el proceso de cálculo y detección de errores. Algunos alumnos se atreven a programar todos los cálculos en un software de cálculo (Scilab), con objeto de facilitar la repetición de los cálculos, experimentar con la influencia relativa de cada variable en el resultado final, e incluso optimizar el proceso. También se han de dar cuenta que el diseño de la torre de refrigeración (cálculo de agua y aire de refrigeración) no se puede abordar hasta conocer las necesidades de refrigeración de la planta.

Al final de cada semana deben redactar un informe con los logros alcanzados durante la semana, describiendo las dificultades encontradas, la forma en las que se superaron y la distribución del trabajo en el equipo, así como los objetivos y el plan de trabajo para la siguiente semana.

En las sesiones vigesimosegunda y vigesimotercera cada grupo dispone de 15 minutos para exponer el trabajo al resto de los compañeros y someterse a preguntas por parte del profesor y alumnos.

4.2. Proyecto 2.

El proyecto 2 abarcaba 10 horas presenciales, siguiendo el mismo método descrito para el proyecto 1. En la primera sesión se presenta la pregunta motriz del proyecto 2 y se les invitaba a presentar su opinión al respecto, y así iniciar un pequeño debate. A continuación se presenta el problema y se les permite el acceso rápido a internet para realizar una búsqueda rápida y bruta de los conceptos del tema (potencia que necesita desarrollar un coche, motor Otto, motor diesel y coche eléctrico, etc.).

La segunda sesión (1h) consiste en realizar una lluvia de ideas, con objeto de establecer las necesidades de aprendizaje.

En la tercera sesión (1 h) los alumnos deben de estimar la potencia necesaria para vencer las resistencias para moverse a velocidad constante de 100 km/h. Se les proporciona documentación orientativa.

A partir de la cuarta a la décima sesión los alumnos trabajan de forma autónoma, estableciendo los objetivos parciales, plazos y la distribución de trabajo, de forma similar a la que se trabaja en el proyecto 1: Acotar variables, calcular propiedades termodinámicas, calcular flujos de gas, flujos

de combustible, potencias transferidas, consumidas y generadas, etc. así como cantidad de CO₂ generada por el consumo del combustible en cada uno de los motores (Otto y Diesel). En el caso del motor eléctrico sólo tienen que documentarse sobre cómo funciona y cuál es la cadena de rendimientos de las diferentes etapas de transformación de la electricidad desde su fuente de generación hasta el eje motor del coche, lo cual les permite determinar la cantidad de CO₂ equivalente, y así compararlo con los motores Otto y Diesel. Esta parte de los cálculos de rendimiento permite conectar el proyecto 1 con el proyecto 2, ya que la electricidad generada por la central térmica es la que se va emplear para hacer mover el coche eléctrico. Algunos alumnos no se conforman con suponer una única fuente, sino que desean acercarse a la realidad, ya que la energía eléctrica consumida proviene de diversas fuentes de generación (nuclear, eólica, centrales térmicas, cogeneración,...). En este caso, se les orienta a que acudan a la página web de la Red Eléctrica Española.

El proyecto finaliza con la exposición oral de los trabajos, de la misma forma que se ha descrito en el apartado 4.1.

El trabajo del alumno fuera del aula sigue una dinámica similar a la que se produce en el aula, salvo en las sesiones introductorias. En algunos casos, se constata que la intensificación del trabajo fuera del aula aumenta al acercarse a la fecha de entrega del informe.

Los problemas propuestos por Nasr (2004, 2005) también describen escenarios asociados a ciclos de potencia, aunque sin que exista combinación entre ellos. La principal diferencia está en el método de trabajo. Su propuesta está encaminada a plantear preguntas en torno al escenario para que el alumno indague sobre lo que necesita saber. Una vez identificado, el profesor explica el concepto correspondiente. Este proceso se repite una y otra vez con objeto de introducir los conceptos clave del temario. Por lo tanto, se trata de problemas más dirigidos y con mayor intervención del profesor. Carlson (2005) plantea el mismo método en algunos de sus escenarios, aunque propone una actividad alternativa e interesante: buscar información del funcionamiento de los sistemas de refrigeración en tres épocas diferentes y analizar las similitudes y diferencias.

Los proyectos planteados en este trabajo están menos acotados y la intervención del profesor es bastante menor. Probablemente, estos autores plantean la metodología para cursos inferiores, con una competencia previa menor y por lo tanto, el objetivo de aprendizaje es más básico en comparación con este trabajo.

4.3. Rol del profesor.

Tal y como se puede deducir de la descripción del método de trabajo, la intervención del profesor en las sesiones PBL se reduce progresivamente desde el inicio hasta el final del proyecto. Su presencia es importante en las primeras sesiones como moderador de las sesiones de lluvia de ideas y determinación de las necesidades del aprendizaje. En la fase de lectura del libro de texto, el profesor participa en el aula bajo demanda, aclarando aspectos que se le solicitan. En la fase de diseño y cálculos, los alumnos trabajan de forma autónoma. El profesor actúa como observador y facilitador, interactuando con cada grupo de acuerdo con sus necesidades, en equilibrio entre discusiones entre los alumnos y su intervención (Gijsselaers, 1996). El profesor observa y toma nota del funcionamiento del grupo y anima a los alumnos a interponer normas de funcionamiento.

El número de alumnos con los que se trabaja cada año es lo suficiente como para que en las sesiones presenciales el profesor pueda hacer un seguimiento del progreso de cada grupo, por lo que el análisis de los informes de seguimiento resulta poco laborioso. Así, la observación de los diferentes caminos y razonamientos de los alumnos a menudo sorprenden al profesor. Esto permite detectar y corregir carencias y malos hábitos de forma específica, a diferencia del método tradicional en la que la instrucción es la misma para todos los alumnos y las carencias no se detectan hasta el examen final. Además, en ocasiones, se puede incluso aprender de los alumnos cuando son inesperadamente originales. Ante todo, el profesor conoce mejor a sus alumnos, y viceversa.

4.4. Seguimiento del trabajo en equipo.

A pesar de las ventajas que supone el aprendizaje colaborativo (Oakley, 2004; Johnson, 2006), asegurar el buen funcionamiento del equipo es crucial, para que los alumnos se sientan motivados y el aprendizaje sea efectivo en cada uno de los miembros del equipo. Johnson (2006) describe cinco elementos que debe reunir la tarea de aprendizaje colaborativo. Cabe destacar especialmente la *interdependencia positiva* y la *exigibilidad individual*, es decir, la contribución de todos los miembros es necesaria para el éxito de la actividad, y ningún miembro puede desentenderse completamente del trabajo de los compañeros y centrarse únicamente en su parte del trabajo.

Tal y como se ha descrito en la sección 4.1, el reparto de la lectura y la explicación de los temas entre pares suponen el primer elemento introducido para generar la interdependencia positiva.

También se adoptaron las estrategias descritas por Oakley (2004), tales como, sesiones de reflexión en grupo y autoevaluación y evaluación por pares en relación a la contribución al grupo. En la sesión decimotercera y más tarde al finalizar el proyecto 1 y el proyecto 2, cada alumno evalúa el nivel la participación de sus compañeros de equipo y así mismo. En la siguiente sesión, los alumnos, de manera individual, responden a un test de funcionamiento del grupo y después, reflexionan en conjunto sobre puntos débiles y puntos fuertes, así como sobre acciones de mejora.

El profesor también detecta situaciones de baja participación, por lo que interviene reuniéndose con el alumno correspondiente para convencerle de que merece la pena participar y aprender.

5. Sistema de evaluación.

La evaluación del aprendizaje es probablemente la tarea más difícil y controvertida. Tradicionalmente, la forma de evaluar el aprendizaje de los alumnos en ciencias e ingenierías ha sido la de uno o varios exámenes individuales con una parte teórica y otra parte de resolución de ejercicios, como los que se han criticado en la sección 1. Introducción. En la parte teórica el alumno expone lo que sabe del tema, tanto en forma escrita, como en examen de tipo test. Por lo tanto, está orientado a determinar la cantidad de material que el alumno ha conseguido memorizar e incluso su capacidad de relacionar conceptos. La parte de resolución de ejercicios consiste en calcular el valor de una magnitud determinada del sistema termodinámico totalmente acotado (se proporciona el valor numérico del resto de las variables que intervienen), de forma similar a la que se ha practicado en las sesiones de resolución de ejercicios. Se trata de determinar

Elemento evaluable	Importancia relativa	Qué se evalúa.
Informe final de los proyectos 1 & 2.	50%	Manejo de los conceptos, razonamientos, procedimientos de cálculos, resultados, expresión escrita, distribución de los contenidos, exposición de resultados...
Informes/Actas semanales sobre objetivos, logros y reparto de tareas.	20%	Coherencia objetivos-logros. Manejo de conceptos y razonamiento. Toma de decisiones. Dificultades y aciertos. Acciones. Reparto de tareas.
Exposición oral de los proyectos.	10%	Síntesis del proyecto. Comunicación oral. Medios para la presentación. Distribución de contenidos. Respuestas a preguntas.
Evaluación entre pares (3 veces).	10%	Participación, motivación, puntualidad, contribución al buen clima de trabajo.
Ejercicio de modificación del proyecto (individual).	10% (MIN 5/10)	Capacidad de hacer frente a una modificación en el proyecto para resolverlo: conceptos, razonamientos, procedimientos de cálculo, resultado.

Figura 1. Elementos evaluados en el aprendizaje de sistemas de potencia de vapor y gas con enfoque PBL.

si el alumno conoce las formulas matemáticas que modelan el sistema y si sabe emplearlas. Este tipo de evaluación asume que el estilo de aprendizaje del alumno es el de la memorización del contenido, e incluso la memorización del procedimiento de resolución del ejercicio, ya que existen escasas alternativas de resolución. El examen tradicional es un instrumento casi exclusivo del entorno académico, que poco tiene que ver con el entorno profesional para el que se preparan nuestros alumnos.

Dado que la dinámica de aprendizaje del PBL se parece poco a lo expuesto en el párrafo anterior, muchas autores piensan que PBL hace muy mala pareja con el examen final tradicional (Valero, 2012). El estilo de aprendizaje PBL no busca que el alumno reproduzca contenidos sino que lo utilice para pensar, decidir y crear. Esta forma de aprender se basa más en la utilización de estrategias metacognitivas, tales como saber qué se hace, qué no se entiende, establecer objetivos, identificar lo que se debe aprender, planificar el propio aprendizaje e identificar estrategias para ello y evaluar si se han conseguido los objetivos. También intervienen las habilidades interpersonales ya que se han de resolver discrepancias negociando, llegando a acuerdos y estableciendo criterios comunes. Por lo tanto, la evaluación del aprendizaje producido con enfoque PBL resulta más complejo, ya que no sólo importa la calidad de los productos que han elaborado, sino que también cómo se ha llegado a él, es decir, el proceso. Según Valero (2012), si se da poco peso a la nota de los resultados del proyecto (informes parciales, informe de diseño, presentaciones orales, etc.) entonces los alumnos tienden a dedicar el tiempo a preparar los exámenes individuales y en consecuencia, los resultados de los proyectos son decepcionantes. La realización de un proyecto no es la mejor manera de preparar un examen final tradicional y viceversa; un examen final tradicional no es la mejor manera de evaluar todo lo aprendido en la realización de un proyecto. Además, si se trabaja en grupo se tiende a pensar que si se da mucho peso a la calificación del proyecto, puede ocurrir que algunos alumnos progresen más por los méritos de otros que por los suyos propios. En el apartado 4.4 se han explicado las acciones implementadas para evitar esta circunstancia.

La Figura 1 muestra las herramientas que se han empleado para evaluar el aprendizaje obtenido en el desarrollo de los dos proyectos con enfoque PBL. El informe final del proyecto es el que más peso tiene, ya que permite determinar si

- los alumnos han entendido los conceptos relacionados con los ciclos de potencia,
- conocen las condiciones de presión y temperatura en las que funcionan,
- han sido capaces de calcular y manejar variables termodinámicas (energía interna, entalpía, entropía, título de vapor, condiciones de saturación y de sobrecalentamiento, etc.), y con estos, calcular potencias en turbinas y compresores, así como el calor intercambiado en calderas y condensadores, determinar el calor de combustión y la refrigeración producida por evaporación,
- han sido capaces de elegir las variables adecuadas (flujos de combustible, de vapor y de gases) para producir la potencia encomendada,
- han sido capaces de justificar las decisiones adoptadas.

Los informes semanales sobre objetivos, logros y reparto de tareas permiten conocer cómo se ha producido el proceso, así como los mecanismos que los alumnos han puesto en marcha para lograr un trabajo en equipo efectivo.

La exposición oral, en la que participan todos, permite indagar en los elementos analizados con el proyecto como, de manera limitada, el aprendizaje individual.

La evaluación por pares trata de determinar si el trabajo en equipo ha sido efectivo, así como el nivel de contribución de cada uno de los miembros. Se ha empleado como base el cuestionario propuesto por Oakley (2004).

Por último, los alumnos se han sometido a una prueba individual, en la que el profesor ha realizado una modificación en su propuesta original, y cada alumno debe proponer alternativas y realizar cálculos para dar solución a la alteración.

Son estos dos últimos elementos de la evaluación los que permiten obtener una calificación individual y diferente al resto de los compañeros. Aunque es de esperar que exista cierta correlación en estas evaluaciones, a menudo no es correcta, debido a diversas circunstancias: evaluaciones por pares sobrevaloradas, excesivo nerviosismo a la hora de realizar la prueba individual, etc. En estos casos, el profesor y los alumnos analizan el proceso conjuntamente.

La importancia relativa de la evaluación del aprendizaje con enfoque PBL en relación al conjunto de la asignatura es aproximadamente proporcional al tiempo presencial dedicado (60%), tal y como se muestra en la Figura 2.

Elemento evaluable	Importancia relativa	Qué se evalúa.
Proyectos PBL	60%	Ver Figura 1.
Examen teórico-práctico	30% (MIN 3,5/10)	Test sobre conocimiento de conceptos y relación y examen de resolución de ejercicios sobre los temas que no se recogen en el enfoque PBL (primer y segundo principio termodinámica y producción de frío).
Seminarios	10%	Participación, calidad de los materiales propuestos, exposición.

Figura 2. Distribución de la evaluación del conjunto de la asignatura.

6. Resultados.

El resultado de la intervención PBL se ha medido comparando antes (2003/04-2007/08) y después de la intervención (2009/10-2011/12), por una parte, las calificaciones de los alumnos y por otra, su opinión en relación a su aprendizaje, a su nivel de motivación, al método de enseñanza-aprendizaje, etc.

Cabe destacar que en los resultados no se han incluido datos del curso 2008/09, ya que corresponde a una situación diferente respecto a los años anteriores (método tradicional) y posteriores (intervención PBL). En el curso 2008/09 el método de enseñanza fue el tradicional (clases de teoría+clases de ejercicios), pero se introdujo la resolución de un problema de *Diseño (poco acotado)*, similar al propuesto en la modalidad PBL, para ser trabajado fuera de las horas de clase, es decir, como una actividad no presencial.

6.1. Calificaciones.

Es difícil comparar los resultados de aprendizaje de alumnos del método tradicional con los de los alumnos del método PBL, utilizando simplemente las calificaciones finales, ya que la forma en la que han aprendido y la forma en el que han sido evaluados son diferentes. En el primero, la evaluación es sumativa y en el segundo, es formativa. Por ello, los resultados de las calificaciones pueden ser bastante diferentes, tal y como se observa en la Figura 3. Los resultados de aprendizaje de los alumnos del periodo tradicional (2003-2008) fueron evaluados por un examen final (test+ejercicios) mientras que los alumnos del periodo PBL (2009-2010) fueron calificados de acuerdo con la Figura 2.

En el periodo tradicional destaca el elevado porcentaje de insuficientes, de entre los cuales la mitad corresponde a no presentados. En el periodo PBL se redujo el número de no presentados desde un 20% a un 5%. El número de suspensos también bajó de un 20% a un 13%. El número de aprobados (calificación >5 y < 7) se redujo en contraposición a un aumento importante del número de notables (calificación >7 y <9), desde el 11% al 60%. Este incremento se debe fundamentalmente al descenso del número de abandonos y a la exigencia del método a trabajar y aprender de forma más constante. Estos dos factores permiten que las calificaciones del proyecto aumenten. Pero también aumentan, aunque en menor medida, las calificaciones de la parte de la asignatura impartida y evaluada de forma tradicional. La figura 4 permite comparar el nivel de aprendizaje medido por examen (test+ejercicios) de la parte de la asignatura impartida de forma tradicional (primer y segundo principio de la termodinámica y sistemas de refrigeración) en el periodo segundo (2009-2012) con los resultados del primer periodo (2003-2008) en la que el alumno se examina de toda la asignatura. El porcentaje de suspensos (sin contar los no presentados) es ligeramente superior, así como el número de aprobados. Sin embargo, el porcentaje de notables aumenta

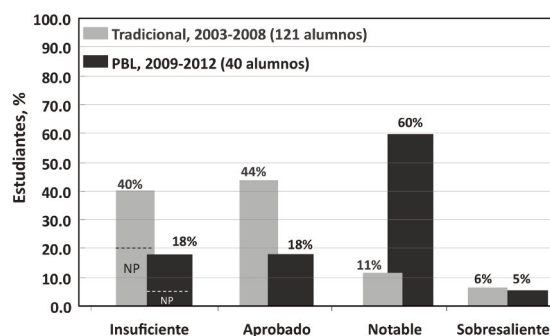


Figura 3. Resultados académicos obtenidos por los alumnos con el método tradicional (2003-08) y con la intervención PBL (2009-12) en convocatoria ordinaria.

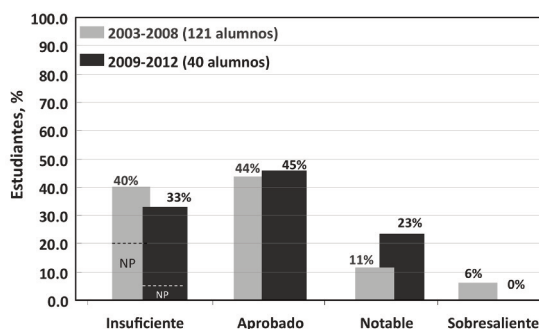


Figura 4. Comparación del nivel de aprendizaje medido por examen tradicional de la parte de la asignatura impartida de forma tradicional (primer y segundo principio de la termodinámica y sistemas de refrigeración) en el periodo segundo (2009-2012) con los resultados del primer periodo (2003-2008) en la que el alumno se examina de toda la asignatura.

hasta un 23%, aunque no se producen sobresalientes. La calificación media obtenida en el examen por el conjunto de los alumnos en el periodo 2009-12 ($5,55 \pm 1,72$) es muy similar a la obtenida por los alumnos en el periodo 2003-2008 ($5,75 \pm 1,60$), lo cual indica que haber trabajado una parte importante de la asignatura con enfoque PBL no ha reducido su tasa de éxito en el examen tradicional.

6.2. Opinión de los alumnos.

Es tradición de la UPV/EHU recoger las opiniones del alumnado sobre la docencia de su profesorado a través de cuestionarios. En el curso 2006/07 este cuestionario fue modificado y actualizado con el fin de adaptarse a los planteamientos didácticos que subyacen al EEES, lo que constituye un factor fundamental para ayudar al *profesor* a mejorar su labor en este nuevo contexto.

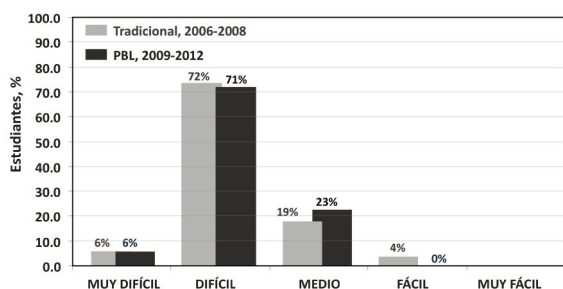


Figura 5. Nivel de dificultad que el alumno prevé antes de realizar el curso. Número de respuestas: 33 (2006-08) y 28 (2009-12).

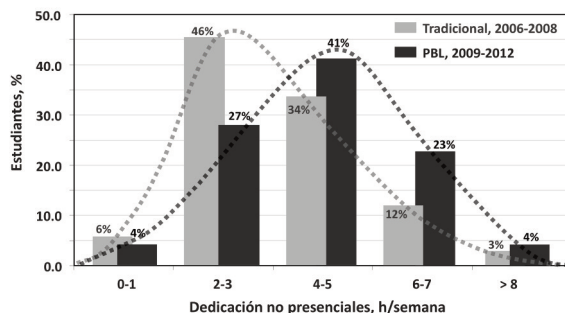


Figura 7. Distribución de la dedicación fuera del aula indicada por los alumnos. Número de respuestas: 33 (2006-08) y 28 (2009-12).

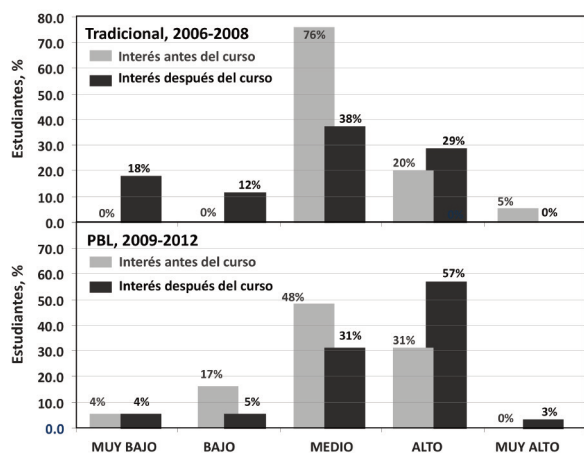


Figura 6. Interés de la asignatura antes y después de haberla cursado. Número de respuestas: 33 (2006-08) y 28 (2009-12).

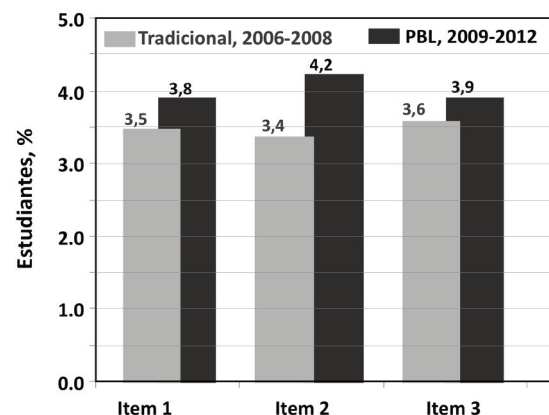


Figura 8. Valor medio de las respuestas sobre autoevaluación. Número de respuestas: 33 (2006-08) y 28 (2009-12).

El cuestionario comienza recolectando información para contextualizar los resultados que de él se derivan: sexo, edad, nº habitual de asistentes a clase, convocatoria de la asignatura, nº de horas de dedicación al estudio de la asignatura, uso de las tutorías, dificultad percibida de la asignatura, motivación previa hacia la asignatura y por último, interés por la asignatura tras haberla cursado con el profesor.

La Figura 5 muestra que el nivel de dificultad que el alumno prevé antes de cursar la asignatura es similar antes y después de la intervención PBL. La Figura 6 compara el interés por la asignatura antes y después de haberla cursado. El interés medio es mayor antes de realizar la asignatura. Como consecuencia del método tradicional, el interés muy bajo y bajo se incrementen mientras que el interés medio y muy alto caen de forma significativa. Sin embargo, tras la intervención PBL, el interés medio cae, a favor de una caída del interés bajo y un aumento importante del interés alto. A raíz de estos resultados se puede concluir que la estrategia PBL ha conseguido motivar y suscitar el interés del estudiante.

La Figura 7 compara la distribución de la dedicación fuera del aula, indicada por los alumnos. Tal y como se deseaba con el cambio de la metodología de aprendizaje, la dedicación semanal aumenta considerablemente. Aproximadamente la mitad de los alumnos confiesa haber dedicado 3-4 horas a la semana, mientras que una cuarta parte confiesa haberle dedicado 6-7 horas. La distribución expresada por los alumnos en el periodo tradicional es la que el profesor había constatado, es decir, que el aprendizaje no presencial, mayoritariamente se producía en las últimas semanas previas al examen final. En cualquiera de los casos,

los alumnos que dedican semanalmente lo que se espera de una asignatura de 6 ECTS no son mayoría. Habiendo 60 horas presenciales, la dedicación esperada es de 90 horas, que repartidas en 15 semanas, correspondería a 6 horas por semana.

Al cuestionario le sigue un apartado de 3 ítems sobre autoevaluación para provocar una reflexión sobre su propio proceso de aprendizaje:

1. He dedicado tiempo suficiente al estudio de la asignatura.
2. He contribuido al buen clima de clase.
3. He participado activamente en las actividades de esta asignatura.

Estas cuestiones se valoran según una escala Likert con 5 valores (1=Nada de acuerdo, 2=Poco de acuerdo, 3=Medianamente de acuerdo, 4=Bastante de acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo) y una casilla de NS/NC (6= No sabe/no contesta). La Figura 8 muestra que la autoevaluación del alumno mejora ligeramente como consecuencia de la intervención del PBL especialmente en los ítems 2 y 3, que estarían directamente relacionados con las habilidades interpersonales y de trabajo en grupo.

El tercer apartado, titulado "Opinión sobre la docencia del profesorado" recoge 24 cuestiones relacionadas con la planificación de la docencia (preguntas 1-2), la metodología docente (preguntas 3-5), el desarrollo de la docencia (preguntas 6-13), la interacción con el alumnado (preguntas 14-20) y la evaluación de aprendizajes (preguntas 21-24).

Pregunta		Tradicional (2006-2008) Media (SD)	PBL (2009-2012) Media (SD)
1	La programación está enfocada hacia el desarrollo de competencias para nuestra futura profesión	3,6 (0.7)	4,0 (0.7)
2	El programa de la asignatura contiene la información necesaria para el seguimiento de la misma	3,0 (1.0)	3,8 (0.9)
3	Las modalidades de enseñanza-aprendizaje se ajustan a		
3.1	las características del grupo de estudiantes	3,1 (0.6)	3,7 (0.8)
3.2	la naturaleza de la asignatura	3,1 (0.6)	3,8 (0.9)
3.3	nuestras necesidades de aprendizaje	2,8 (0.7)	3,8 (1.0)
4	Los recursos utilizados por el profesor ayudan a nuestro proceso de aprendizaje	3,3 (1.1)	3,6 (1.0)
5	Las actividades prácticas propuestas por el profesor facilitan el aprendizaje de contenidos teóricos y viceversa	2,9 (1.0)	3,7 (1.1)
6	Se ha desarrollado la asignatura ajustándose a lo establecido al inicio del curso	3,6 (0.8)	3,5 (1.0)
7	Desarrolla su docencia de manera clara y ordenada	2,0 (1.0)	2,9 (1.0)
8	Favorece el trabajo en equipo	3,5 (0.8)	4,5 (0.8)
9	Establece conexiones entre esta asignatura y otras asignaturas afines de la titulación	3,2 (0.8)	3,9 (0.7)
10	Orienta el trabajo personal del alumnado tanto en el aula como fuera de ella	3,4 (0.9)	3,7 (0.9)
11	Motiva el alumno para que se interese por su proceso de aprendizaje	2,4 (1.0)	3,8 (0.9)
12	Propone actividades para favorecer el aprendizaje autónomo	3,3 (0.9)	4,0 (0.7)
13	Favorece la actitud reflexiva	2,9 (0.9)	3,7 (0.6)
14	Estimula la participación	3,0 (1.0)	4,1 (0.6)
15	Contribuye al desarrollo de un buen clima de grupo	2,6 (1.0)	4,0 (0.7)
16	Muestra disponibilidad ante las demandas del alumnado	2,8 (1.1)	4,0 (0.6)
17	Favorece la comunicación	2,7 (0.9)	3,9 (0.7)
18	Está abierto al dialogo en lo que se refiere a la mejora de la asignatura	2,7 (1.1)	4,1 (0.7)
19	Atiende adecuadamente a consultas que se le plantean	2,0 (0.9)	3,7 (0.7)
20	Me ha orientado en la búsqueda de soluciones cuando he tenido problemas de aprendizaje	2,6 (1.1)	3,7 (0.7)
21	Los criterios y procedimientos de evaluación se adecuan al planteamiento metodológico de la asignatura	3,1 (0.8)	3,7 (0.7)
22	Tiene en cuenta la opinión del alumnado a la hora de establecer los procedimientos para evaluar el aprendizaje	3,0 (1.1)	3,9 (0.7)
23	El sistema de evaluación me permite conocer si voy alcanzando progresivamente las competencias	2,9 (0.8)	3,5 (0.9)
24	La evaluación se ajusta a lo trabajado durante el curso	2,9 (0.9)	4,1 (0.7)

Figura 9. Valor medio y desviación estándar sobre la opinión de los alumnos ante el método de enseñanza-aprendizaje propuesto por el profesor

La Figura 9 muestra los resultados promedios antes y después de la intervención PBL, junto con la desviación estándar. La opinión de los alumnos en todas las preguntas ha mejorado con la intervención PBL, desde una puntuación promedio entorno a 3 hasta una puntuación promedio entorno a 4. Los incrementos más importantes se producen en las preguntas relacionadas con la interacción con el alumnado (incremento de la puntuación entre 40-85%). Los alumnos toman mayor conciencia de que la forma en la que cada grupo aborda el problema es diferente y por lo tanto, no existe una solución única. Esto favorece el trabajo en equipo (puntuación máxima: 4,5), estimula aun más la participación (incr. 40%), la comunicación (incr. 47%) y el des-

arrollo de un mejor clima de trabajo (incr. 54%). El alumno tiene más conciencia de que el profesor debe adaptarse a las circunstancias y problemas que a cada grupo se le plantean (incr. 40-85%). Le sigue el conjunto de preguntas relacionadas con el desarrollo de la docencia: aprendizaje más reflexivo (incr. 26%), más motivador (incr. 62%) y más autónomo (incr. 20%); También creen que la evaluación del aprendizaje, se realiza con mejores criterios y procedimientos (20%), que además da pie que el alumno pueda aportar a la hora de establecer los procedimientos (33%), probablemente debido a que existe una mayor interacción tanto entre los alumnos como entre alumnos y profesor.

4. Conclusiones.

En este trabajo se ha presentado una experiencia de transformación de la estrategia de enseñanza-aprendizaje tradicional a una estrategia del tipo PBL. La transformación consiste en pasar de las clases magistrales en las que el alumno escucha la bases teórico-prácticas para después ponerlas en prácticas en la resolución de ejercicios acotados, a trabajar y aprender en torno a un problema *de Diseño*, complejo, poco estructurado y contextualizado, con el que los alumnos identifican las necesidades de aprendizaje y los aprenden tratando de dar solución al problema. Lo importante no es resolver correctamente el problema sino el aprendizaje que se produce. Se han presentado dos problemas, uno relativo a centrales térmicas de ciclo combinado y otro relacionado con los motores de combustión interna. La intervención fue diseñada para 35 horas (50% de la asignatura) presenciales.

Los resultados muestran que la intervención mejora las calificaciones generales de la asignatura, así como la motivación, las habilidades interpersonales y de trabajo en grupo, y la opinión sobre el aprendizaje que se produce de forma constructiva. Es difícil establecer el impacto de la intervención en el desarrollo de las competencias transversales, más allá del análisis de los resultados realizados en este trabajo, ya que la experiencia es muy puntual en relación a currículum entero de Ingeniero Químico.

5. Referencias bibliográficas

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación ANECA. "Libro blanco: Título de Grado en Ingeniería Química". 2005.
- Carlson, Alfred. "Using Problem Based Learning to Teach Thermodynamics: The Good, the Bad, and the Ugly" Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition June 12-15, Portland, Oregon. Washington D.C.: American Society for Engineering Education City, 2005.
- Gijselaers, W. H. "Connecting problem-based practices with educational theory." *New Directions for Teaching and Learning*, 68 (1996): 13-21.
<http://dx.doi.org/10.1002/tl.37219966805>
- Hmelo-Silver, Cindy; Barrows, Howard S. "Goal and Strategies for a Problem-based Learning Facilitator". *International Journal of PBL*, 1.1 (2006): 21-30.
<http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1004>
- Jonassen David H., Hung Woei, "All Problems are Not Equal: Implications for Problem-Based Learning". *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 2.2 (2008): 6-28 <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1080>
- Johnson, David W.; Johnson, Roger T., Smith, Karl. A. "Active learning: Cooperation in the college classroom". Edina, MN: Interaction Book Co. 2006.
- Nasr, Karim J; Thomas C. Duane. "Student-centered, Concept-embedded Problem-based Engineering Thermodynamics". *International Journal of Engineering Education*. 20.4, (2004): 660-670.
- Nasr, Karim J; Ramadam Bassem. "Implementation of Problem-Based Learning into Engineering Thermodynamics." Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition June 12-15, Portland, Oregon. Washington D.C.: American Society for Engineering Education City, 2005.
- Mills, J.E., Treagust, D.F., "Engineering Education—Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer?" *Australasian Journal of Engineering Education*, 3, 2003: 2-16. 7 julio 2014.
http://www.aeee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf
- Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Chichester: John Wiley and Sons. 2004.
- Oakley, Barbara; Felder, Richard M.; Brent Rebecca; Elhadj Imad. "Turning Students Groups into Effective Teams". *J. Student Centered Learning*, 2.1 (2004): 9-34.
- Resolución del 29 de septiembre de 1998 de la Universidad del País Vasco por la que se ordena la publicación de la homologación del plan de estudios conducente de la titulación de Ingeniero Químico, a impartir en la Facultad de Ciencias de esta Facultad (1998), BOE N° 260 pp. 35696-35708.
- Servicio de Evaluación Docente (UPV/EHU). *Cuestionario de opinión al alumnado sobre la docencia de su profesorado*. Web 7 jul. 2014
<http://www.ehu.es/es/web/sed-iez/inkesta>
- Søgaard, Erik G., "The Concepts of Learning Based on the AAU Teaching Model in Chemical Engineering Education." *The Aalborg PBL model – Progress, Diversity and Challenges*. Eds. Anette Kolmos, Flemming K. Fink and Lone Krogh. Aalborg: Aalborg University Press, 2006: 235-248. Ebook.
- Thomas, J.W., "A Review of Research on Project-based Learning". San Rafael, CA. Autodesk Foundation, 2000. Web 7 jul. 2014
http://www.bie.org/research:study:review_of_project_based_learning_2000
- Valero-García, Miguel "PBL (Piensatelo Bien antes de Liarte)". *ReVisión* 5:2 (2012): 11-16. Web 7 jul. 2014
<http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=revisio&page=article&op=view&path%5B%5D=105>
- Woods, Donald R., "PBL: An Evaluation of the Effectiveness of Authentic Problem-based Learning (aPBL)". *Chemical Engineering Education*, 46.2, (2012): 135-144.

| Cita recomendada de este artículo

Aranzabal Maiztegui, Asier (2014). Enfoque "Aprendizaje Basado en Proyectos" para enseñar sistemas de potencia de gas y vapor. *@tic. revista d'innovació educativa*. (n° 13). URL. Fecha de consulta, dd/mm/aaaa.