

# El aprendizaje orientado a proyectos en Mecánica de Fluidos a través de la experimentación con cohetes de agua

## Project-based learning in Fluid Mechanics through the experimentation with water rockets

Raúl Barrio Perotti  
Área de Mecánica de Fluidos  
Universidad de Oviedo  
barrioraul@uniovi.es

Eduardo Blanco Marigorta  
Área de Mecánica de Fluidos  
Universidad de Oviedo  
eblanco@uniovi.es

Julián Martínez de la Calle  
Área de Mecánica de Fluidos  
Universidad de Oviedo  
jmcalle@uniovi.es

Mónica Galdo Vega  
Área de Mecánica de Fluidos  
Universidad de Oviedo  
galdomonica@uniovi.es

### Resumen

Un cohete de agua puede estar formado por algo tan simple como una botella de plástico para refresco en la que se introduce agua y aire a presión. El aire presurizado expulsa un chorro de agua por la boquilla al abrir el tapón, lo que provoca un aumento de la velocidad de la botella y su propulsión a distancias o alturas importantes. En este artículo se describe una práctica de campo basada en el aprendizaje orientado a proyectos y cuyo eje principal es la experimentación con cohetes de agua. El objetivo es diseñar un cohete de agua, así como su sistema de llenado de aire y de disparo, para que alcance un blanco concreto o bien una distancia máxima. Los estudiantes deben realizar los cálculos teóricos y las pruebas experimentales necesarias para estimar los parámetros óptimos de lanzamiento que permitan alcanzar el objetivo propuesto. Los proyectos se evalúan en un concurso público en el que cada grupo lanza su cohete de agua. La eficacia de esta metodología docente se evaluó mediante una encuesta cuyos resultados se presentan en la parte final del artículo.

**Palabras clave:** cohetes de agua, trabajo grupal, aprendizaje basado en proyectos, metodologías activas

### Abstract

A water rocket can be as simple as a plastic bottle for soft drinks containing water and pressurized air. The pressure of the air expels a jet of water through the nozzle when the cap is opened which, in turn, increases the velocity of the bottle so that it can be propelled to significant distances or heights. This paper describes a project-based learning field practice on the topic of water rockets. The main objective is to design a water rocket, in addition to the air filling and launching system, with the purpose of either hitting a target or reaching a maximum distance. The students have to carry out the necessary calculations and experimental tests to estimate the optimum launching parameters that allow meeting the goal proposed. The projects are evaluated in a public contest where each of the groups of students launches its water rocket. This teaching methodology was evaluated by means of an opinion survey whose results are presented at the final part of the paper.

**Key words:** water rockets, workteam, project-based learning, active methodologies

## 1. Introducción

Los cohetes espaciales se utilizan habitualmente en la docencia de la Física como ejemplo de la aplicación de ciertos principios teóricos a una situación real (Bose, 1983; Gale, 1970; Gowdy, 1995). El proceso de enseñanza-aprendizaje de estos principios, sin embargo, es mucho más ilustrativo si los estudiantes pueden observar, e incluso llevar a cabo, experimentos que permitan validar la pura teoría. Obviamente, la experimentación real con cohetes espaciales a nivel universitario es, si no imposible, bastante complicada. En este sentido, la cohetería (esto es, las maquetas de cohetes a muy pequeña escala) ha jugado un papel muy importante como un medio de iniciar a futuros técnicos tanto en la investigación básica como en los procedimientos utilizados en Aeronáutica con los cohetes reales (Nelson y Wilson, 1976; Nelson, Bradshaw, Leinung y Mullen, 1976). El uso, importancia y extensión de esta actividad en países como los Estados Unidos se puede comprobar si se visita la página oficial de la Asociación Nacional de Cohetería Norteamericana<sup>1</sup>; un ejemplo mucho más visual de esta práctica se puede ver en la película titulada Cielo de octubre<sup>2</sup>.

Al igual que en los cohetes reales, en este tipo de maquetas se utiliza un proceso de combustión para obtener el chorro de gases de propulsión, tal como se muestra en la figura 1; sin embargo, no es necesario que exista una combustión para obtener un empuje elemental. Un chorro de propulsión se puede conseguir al mezclar agua y aire comprimido en un recipiente adecuado, y este es precisamente el principio de operación de los cohetes de agua. Un cohete de agua se puede construir con algo tan simple como una botella de plástico para refresco en la que se ajusta una válvula de bicicleta (ver figura 1). En su interior se vierte un volumen de agua determinado y, a continuación, se introduce aire a presión (por ejemplo, con una bomba de mano) a través de la válvula. Al dar la vuelta a la botella (esto es, al situar el tapón en su parte inferior) el aire sube hasta la parte superior debido a su menor densidad, de tal forma que no podrá salir al exterior hasta que se haya expulsado todo el volumen de agua. Por tanto, al abrir el tapón se produce la salida de un chorro de agua por la boquilla debido a la presión del aire comprimido. Este chorro origina un incremento significativo de la velocidad de la botella por el principio de acción y reacción, lo que hace que pueda ser propulsada a gran distancia o altura.

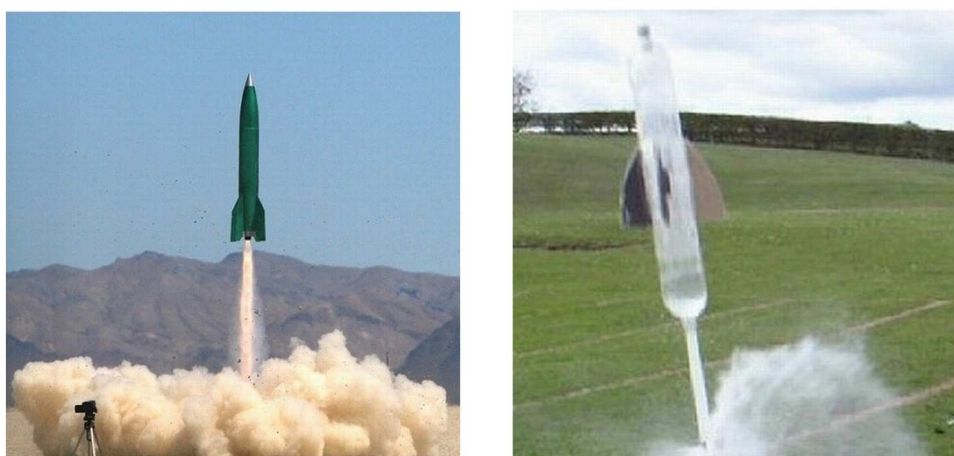


Figura 1. Comparación entre la maqueta de un cohete propulsado por combustión (izquierda) y un cohete propulsado por agua (derecha)<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> National Association of Rocketry, en <http://www.nar.org>

<sup>2</sup> Cielo de octubre. Dir. Joe Johnston, Universal Pictures, 1999, 108 min.

<sup>3</sup> Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

Los cohetes de agua presentan algunas ventajas evidentes sobre las maquetas propulsadas mediante combustión: son más seguros, muy baratos y fáciles de construir y de ensayar. Todas estas características hacen que los cohetes de agua sean muy atractivos a distintos niveles educativos desde un punto de vista pedagógico. Se pueden mostrar a nivel de estudios primarios simplemente como algo divertido y muy espectacular que permite introducir a los alumnos en el apasionante mundo de la Física. Los cohetes de agua también se pueden utilizar, a nivel de secundaria o de bachillerato, como una demostración práctica del principio de acción-reacción. En este caso, los alumnos pueden incluso llevar a cabo medidas de campo para comprobar la influencia de las distintas variables de ensayo (básicamente el volumen de agua, la presión del aire y el ángulo de disparo) en la distancia o en la altura alcanzada por el cohete. La experimentación con cohetes de agua también se puede plantear como una actividad a nivel universitario (Tomita, Watanabe y Nebylov, 2007) si se propone a los alumnos un objetivo más ambicioso, como puede ser, por ejemplo, acertar en un blanco o alcanzar una distancia o una altura máxima con una presión de aire limitada. Esta actividad se puede complementar, dentro del ámbito de un curso de Física o de Mecánica de Fluidos, con un modelo matemático del cohete que se deba resolver para estimar los parámetros de ensayo óptimos que permitan alcanzar el objetivo propuesto (Finney, 2000; Ota y Umemura, 2001; Prusa, 2000).

En este artículo se describe una práctica de campo que se lleva realizando en el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Oviedo desde hace varios años (Blanco, Martínez, Barrio, Argüelles y Galdo, 2009). La práctica está basada en el método de proyectos, y su objetivo es que los alumnos diseñen un cohete de agua, junto con su sistema de llenado de aire y de lanzamiento, y que realicen los cálculos necesarios (validando los resultados mediante pruebas de campo) para superar una prueba final que es objeto de evaluación. Para ello se forman equipos de un máximo de 4 alumnos y, tras una sesión introductoria, se les pide que elaboren un plan de trabajo para realizar la práctica dentro de un plazo de tiempo determinado, durante el cual el profesor sólo ejerce de orientador. La evaluación final de los proyectos se realiza mediante un concurso público en el que cada grupo debe demostrar que su diseño es capaz de superar la prueba utilizando las variables de ensayo obtenidas en los cálculos. Siguiendo las directrices marcadas por Bolonia, esta metodología docente se evaluó al finalizar el curso pasado mediante una encuesta de satisfacción proporcionada a los estudiantes cuyos resultados se presentan en la parte final del trabajo.

## **2. Contextualización, fundamento y objetivos**

El diseño de cohetes de agua se ha utilizado como base para estructurar una práctica de campo en la asignatura de Mecánica de Fluidos impartida por los autores. Esta asignatura (ver tabla 1), de tipo troncal, se imparte en el tercer curso (primer cuatrimestre) de la titulación de Ingeniero Industrial de la Universidad de Oviedo. Se trata de una asignatura de 9 créditos LRU repartidos por igual entre docencia teórica y práctica. El número medio de alumnos matriculados en la asignatura en los últimos años es aproximadamente de 120. Al ser una materia de tercer año, los alumnos que la cursan poseen ciertos conocimientos de Física, Química, Matemáticas e Informática.

El objetivo general de la asignatura es: proporcionar el conocimiento de los principios fundamentales que rigen el comportamiento de los medios fluidos, a partir de las ecuaciones básicas de conservación y constitución. Tomando dichos principios como base, se presentan además algunas aplicaciones prácticas de interés en la ingeniería y en la industria. Como

objetivos más específicos se pretende que al finalizar la asignatura el alumno adquiera las siguientes competencias:

- Conocimientos de los principios básicos de la Mecánica de Fluidos y su aplicación a la resolución de problemas en el campo de la ingeniería.
- Cálculo de tuberías, canales y sistemas de fluidos.
- Conocimiento aplicado de los fundamentos de los sistemas y máquinas fluidomecánicas.

Tabla 1. Información de la asignatura.

Universidad:	Universidad de Oviedo	Centro:	EPS de Ingeniería de Gijón		
Título:	Ingeniero Industrial				
Asignatura:	Mecánica de Fluidos	Tipo:	Troncal	Código:	12680
Ciclo:	1º	Curso:	3º	Periodo:	Cuatrimestre 1
Créditos LRU:	9	Teóricos:	4,5	Prácticos:	4,5
Créditos ECTS:	10	Teóricos:	5	Prácticos:	5

Los créditos prácticos de la asignatura se dividen en cuatro grandes bloques, tal como se muestra en la tabla 2. Las prácticas de laboratorio se estructuran en cinco sesiones de dos horas de duración cada una. En ellas los alumnos, que trabajan en grupos de cuatro miembros, utilizan pequeños equipos e instalaciones, realizan medidas con instrumentación básica y llevan a cabo los cálculos necesarios para obtener el resultado final pedido. Al concluir cada sesión, los grupos de trabajo entregan un informe en el que se recoge el trabajo realizado.

Las sesiones de ordenador comprenden cuatro bloques de dos horas de duración. Estas sesiones sirven para introducir a los estudiantes en las técnicas de cálculo numérico que se utilizan para simular el flujo de fluidos en la vida profesional. El número de estudiantes por grupo es de 20, disponiendo cada alumno de un puesto de trabajo individual en el que se encuentra instalado el programa de simulación. Básicamente, se trata de que resuelvan un caso guiado de ejemplo y, posteriormente, de que planteen un proyecto de trabajo sencillo. La práctica concluye con la entrega de un informe final seguido de una exposición pública del trabajo realizado ante el profesor y los compañeros.

Los seminarios se estructuran en siete sesiones, de dos horas de duración cada una, en las que participan grupos de 30 alumnos. En cada seminario se trabaja sobre un bloque de contenidos concreto para tratar de ilustrar la aplicación de los fundamentos básicos, vistos en las clases teóricas, a una serie de casos prácticos de especial relevancia. La última media hora de cada seminario se reserva para plantear a los alumnos un problema sobre los contenidos impartidos que deben resolver y entregar individualmente al finalizar la sesión.

Tabla 2. Distribución de créditos prácticos en la asignatura.

Tipo de práctica	Número de sesiones	Alumnos/grupo
Laboratorio	5	4
Ordenador	4	20
Seminario	7	30
Campo	-	4

Como se puede juzgar, la metodología docente que se plantea en todas estas prácticas es muy tradicional; a pesar de favorecer hasta cierto punto el trabajo en equipo y la colaboración entre estudiantes, el proceso de aprendizaje que originan es fundamentalmente conductual. En este tipo de prácticas casi siempre se dispone de un guión detallado que el profesor prepara con anterioridad o, de forma equivalente, de una explicación previa bastante exhaustiva de los métodos y de los procedimientos. Esto acaba convirtiendo al alumno en un sujeto pasivo que apenas interviene en la construcción de su aprendizaje, ya que se limita a seguir, punto por punto, lo que indica el guión o los pasos explicados, realizando preguntas únicamente cuando se encuentra con alguna dificultad.

Por ello, los profesores de la asignatura nos planteamos incluir una práctica adicional para intentar compensar estas carencias. El objeto de la práctica es que los alumnos no estén tan guiados, sino que sean ellos mismos quienes aprendan a aplicar los fundamentos básicos de la asignatura en una situación real, es decir, que sean capaces de construir su propio aprendizaje. Partiendo de algunas experiencias previas, decidimos organizar una actividad de trabajo en grupo que estuviese basada en el aprendizaje orientado a proyectos y cuyo eje principal fuese la experimentación con cohetes de agua. Siguiendo algunas de las directrices marcadas en el Proyecto Tuning (González y Wagenaar, 2003), con la realización de la práctica se intenta potenciar las competencias genéricas o transversales recogidas en la tabla 3.

Tabla 3. Algunas competencias transversales potenciadas al realizar la práctica.

<b>Instrumentales</b>	<b>Interpersonales</b>	<b>Sistémicas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Capacidad de organizar y planificar</li><li>- Habilidades básicas de manejo del ordenador</li><li>- Toma de decisiones</li><li>- Resolución de problemas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Trabajo en equipo</li><li>- Capacidad crítica y autocrítica</li><li>- Habilidades interpersonales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Diseño y gestión de proyectos</li><li>- Habilidad para trabajar de forma autónoma</li><li>- Creatividad</li><li>- Capacidad de aprender</li><li>- Capacidad de aplicar conocimientos a la práctica</li></ul>

### 3. Planteamiento de la actividad

Desde un punto de vista académico, un proyecto es una experiencia de aprendizaje que los alumnos realizan de manera independiente, incluso fuera de la institución, y sobre el que presentan un informe final de resultados. Mediante la realización de proyectos se puede valorar una variedad de conocimientos, destrezas y capacidades aplicadas por el alumno, favoreciendo el trabajo cooperativo.

El aprendizaje orientado a proyectos se puede definir como una metodología de enseñanza y aprendizaje en la que los estudiantes realizan un proyecto en un tiempo determinado, con el objetivo fundamental de abordar una tarea mediante la planificación, diseño y realización de una serie de actividades (de Miguel, 2005). El método se fundamenta en el aprendizaje práctico, en el que tiene gran importancia el proceso de investigación centrado en un aspecto determinado, habitualmente con la finalidad de dar solución a problemas complejos a partir de soluciones abiertas. Mediante este método, se pretende que los estudiantes asuman una mayor responsabilidad en su propio aprendizaje y que se acostumbren a aplicar, en proyectos reales, las habilidades y conocimientos adquiridos en su formación. La intención final es plantear

situaciones a los estudiantes que los lleven a aplicar lo que aprenden como una herramienta para resolver problemas y realizar tareas.

Para realizar un proyecto se necesita integrar el aprendizaje de varias áreas y materias, superando de esta forma un aprendizaje que normalmente se encuentra fragmentado. A través de la realización de proyectos los estudiantes descubren y aprenden conceptos propios de su especialización. La realización de un proyecto como estrategia de aprendizaje, por tanto, no se debe entender como un fin en sí mismo, sino más bien en función de las posibilidades que supone su realización para desarrollar y poner en práctica diferentes competencias. No se trata solamente de aprender acerca de algo, sino también de hacer algo.

El proyecto planteado a los alumnos de la asignatura consiste en diseñar un cohete de agua a partir de una botella de refresco, así como su sistema de llenado de aire y de disparo. Los estudiantes deben demostrar que su cohete impacta en un blanco determinado, o bien que alcanza una distancia máxima (cada año suele elegirse una de las dos opciones) con una presión de aire limitada. La estimación del volumen óptimo de agua, presión del aire y ángulo de lanzamiento no es directa, y suele requerir del uso de un modelo matemático del cohete, más o menos complejo, que debe resolverse numéricamente. Además, y dado que las estimaciones proporcionadas por el modelo no dejan de ser teóricas y, por tanto, idealizadas, es necesario recurrir a experimentación de campo para ajustar las desviaciones existentes respecto a la realidad. El método de proyectos se estructura tradicionalmente en las cuatro fases que se esquematizan en la figura 2.

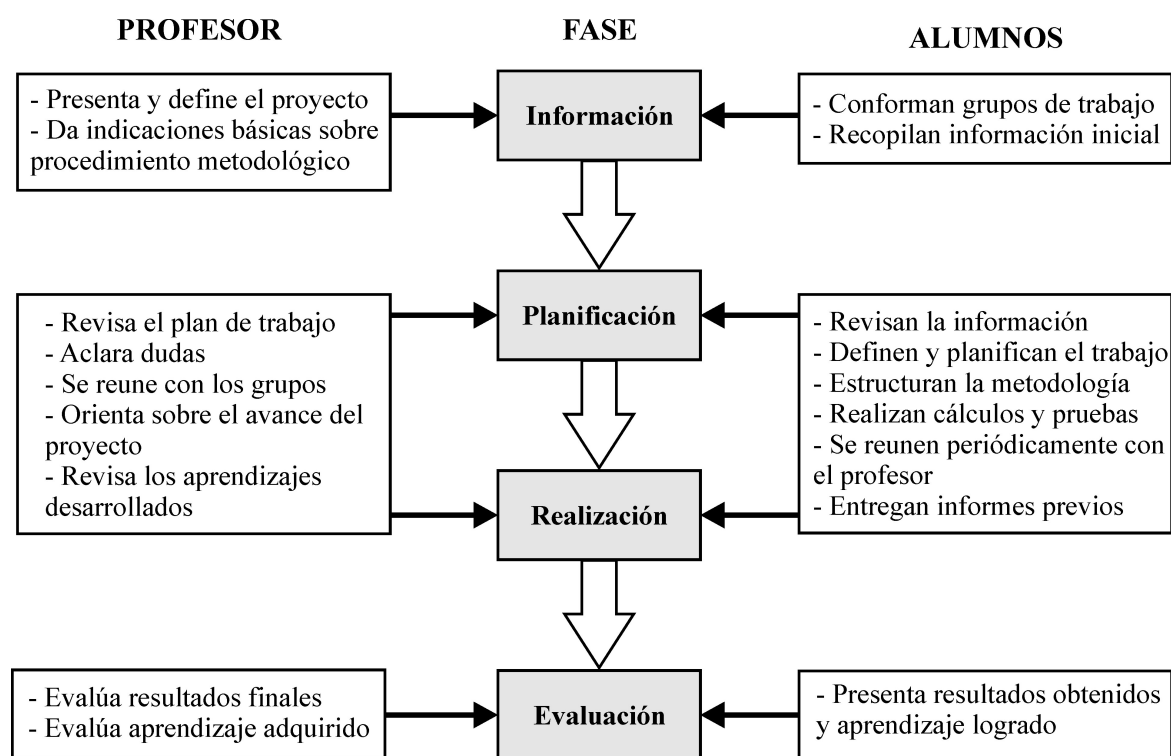


Figura 2. Fases del método de aprendizaje orientado a proyectos y tareas de los alumnos y profesor.



### *3.1. Fase de información*

Los objetivos de la fase de información son formar los grupos de trabajo (para esta actividad se establece un máximo de 4 alumnos por grupo), presentar y definir el proyecto y dar a los alumnos unas indicaciones básicas sobre diseño, procedimiento y metodología. Esta fase se lleva a cabo en uno de los seminarios indicados con anterioridad. Durante el seminario, el profesor facilita a los estudiantes un pequeño manual de la práctica en el que se definen sus objetivos, condiciones de realización y forma de presentar los resultados. También se proporcionan algunas indicaciones básicas sobre la manera de diseñar cohetes de agua con buena estabilidad y aerodinámica, y sobre diversas posibilidades de implementar sistemas de llenado de aire utilizando válvulas de bicicleta o de automóvil. Por tanto, este manual no se debe entender como un guión de la actividad en el sentido tradicional, sino más bien como una especie de “código de buenas prácticas”. Se trata de dar indicaciones que ayuden a los estudiantes a resolver con éxito el problema, pero dejando la solución abierta, más que de establecer una serie de pasos que se deban seguir para llegar al resultado final.

La última parte del seminario se utiliza para ilustrar los cálculos teóricos que se deben llevar a cabo para estimar los parámetros de ensayo con un caso de ejemplo; de esta forma, se refuerzan las competencias conceptuales desarrolladas en las sesiones teóricas. Al concluir el seminario, los alumnos ya están en condiciones de plantear y resolver los cálculos a partir de sus datos particulares, de iniciar el diseño del sistema, y de llevar a cabo los experimentos y las pruebas de campo necesarias para validar los resultados obtenidos.

### *3.2. Fases de planificación y realización*

En estas fases los alumnos estructuran el plan de trabajo, definen la metodología, llevan a cabo los cálculos y pruebas experimentales pertinentes y se reúnen periódicamente con el profesor para resolver dudas y presentar informes preliminares. El plazo del que disponen los estudiantes para llevar a cabo el trabajo descrito es de mes y medio. Durante este periodo el profesor no constituye la fuente principal de información, sino que pasa a ser un mero orientador de la actividad. Su función principal es la de reunirse periódicamente con cada grupo para resolver dudas, revisar el plan de trabajo y dar orientaciones sobre el avance del proyecto.

Tras concluir el plazo de realización del proyecto, los alumnos deben entregar un informe final en el que se recoja un resumen del trabajo realizado. En concreto, se debe mostrar una foto del cohete diseñado con sus características geométricas, de su sistema de llenado de aire y de la plataforma de lanzamiento. También se deben incluir los datos de ensayo (volumen óptimo de agua, presión de aire y ángulo de disparo) estimados a partir de los cálculos teóricos, así como un resumen de la evolución de ciertas variables de relevancia a lo largo del tiempo de vuelo. Dado que el modelo matemático del cohete se define a partir de una serie de ecuaciones en derivadas parciales, la resolución del mismo implica la programación de dichas ecuaciones en algún lenguaje informático o, de forma más simple, del establecimiento de algunas hipótesis que simplifiquen el modelo lo suficiente como para poder programarlo en una simple hoja de cálculo. Esto permite el desarrollo de competencias transversales relacionadas con el manejo de ordenadores, como se reflejó previamente en la tabla 3. Como resumen gráfico de los cálculos, al final del informe se debe presentar una gráfica con la velocidad y la trayectoria del cohete a lo largo del tiempo.

### 3.3. Fase de evaluación

Algunas de las competencias específicas de la asignatura, así como el aprendizaje adquirido durante la realización del proyecto, se evalúan a partir del informe final de resultados. Sin embargo, la evaluación se centra principalmente en el proyecto en sí, el cual se presenta ante los profesores y los compañeros. Esta presentación se lleva a cabo mediante un concurso abierto al público. Cada grupo debe demostrar, a partir de su diseño y del valor óptimo de las variables de ensayo obtenidas en los cálculos, que su cohete es capaz de cumplir con los requerimientos del proyecto, esto es, alcanzar una distancia máxima o acertar en un objetivo concreto.

El concurso se realiza, a lo largo de una mañana, en un espacio abierto que permita cumplir con ciertas medidas mínimas de seguridad. Se dispone de una serie de puntos de lanzamiento, cada uno controlado por un profesor, en los que se pueden realizar los preparativos previos a la prueba. Cada grupo de alumnos dispone de 15 minutos para llevar a cabo la prueba completa (medida del volumen de agua, control de la presión del aire y ajuste del sistema de agarre y lanzamiento) y de un máximo de 3 intentos. Los profesores disponen de una matriz de evaluación como la que se muestra en la tabla 4. En esta matriz se recogen varios aspectos del diseño (tanto del cohete como del sistema de lanzamiento) y de la ejecución del ensayo que se puntúan entre 0 y 10. Uno de los aspectos clave en la evaluación es la adecuación entre la distancia alcanzada por el cohete y la distancia objetivo. En función de cómo sea esta adecuación se asigna un identificador de referencia (A, B, C o D).

Tabla 4. Matriz de valoración del proyecto.

GRUPO:	Nº:	NOTA (0-10)
<b>BOTELLA</b>	Decoración	
	Aletas	
	Válvula	
	Protector delantero	
	Tapón	
<b>LANZADERA</b>	Sistema de disparo	
	Sistema de guiado	
	Acabado	
<b>LANZAMIENTO</b>	Proceso llenado aire	
	Disparo	
	Distancia (A,B,C,D)	

Después de varios años realizando este proyecto podemos constatar que, a pesar de que es una actividad que implica unas cuantas horas de dedicación (cosa que se nos recuerda con frecuencia), suele provocar bastante interés en los alumnos, quienes aprecian el hecho de tener que realizar una práctica en la que se necesite una cierta dosis de investigación y, sobre todo, de creatividad. Esta creatividad se suele manifestar sobremanera en el diseño de los cohetes.



Sirvan como ejemplo las imágenes que se presentan en la figura 3, las cuales corresponden a algunos de los cohetes diseñados por los alumnos más creativos.



Figura 3. Algunos diseños realizados por los alumnos.

#### 4. Evaluación de la actividad

Se decidió realizar una encuesta anónima a los alumnos al concluir el curso con el fin de conocer su opinión sobre esta metodología docente. La encuesta constaba de los 12 enunciados que se muestran en la tabla 5. Los alumnos debían indicar su grado de acuerdo con cada enunciado utilizando una escala numérica que iba desde 1 (totalmente en desacuerdo) hasta 5 (totalmente de acuerdo). Los resultados de la encuesta, que fue respondida por el 72% de los estudiantes, se muestran en la figura 4. En esta figura se presenta, para cada una de las preguntas, el porcentaje de estudiantes que escogió cada una de las cinco posibles respuestas.

Tabla 5. Enunciados de la encuesta de valoración.

- 
1. El material y las explicaciones ofrecidas por el profesor en el seminario han resultado suficientes para realizar la práctica.
  2. El apoyo del profesor durante la fase de diseño de la práctica ha sido adecuado y ha ayudado a resolver todas las dudas que han surgido.
  3. La dificultad de la práctica se adecua a los contenidos de la asignatura.
  4. La práctica me ha ayudado a comprender mejor y a saber aplicar adecuadamente los contenidos teóricos de la asignatura.
  5. La práctica me ha servido para aplicar conocimientos generales y de otras materias distintas de la Mecánica de Fluidos.
-

6. La práctica me ha servido para adquirir nuevos conocimientos.
7. El tiempo del que se dispone para diseñar la práctica es suficiente.
8. La práctica en grupo me ha servido para compartir conocimientos con mis compañeros y así comprender mejor la asignatura.
9. La práctica me ha motivado.
10. Valoro positivamente este tipo de prácticas, que permiten crear e innovar, frente a las prácticas tradicionales de diseño más cerrado.
11. Considero positivo que se realicen más prácticas de este tipo en esta y en otras asignaturas.
12. La valoración global que le doy a la práctica (de 1 a 5) es de:

Tal como se puede ver en la figura 4, más de un 70% de los estudiantes consideran que el material y las explicaciones ofrecidas por el profesor en el seminario, y su apoyo durante la fase de diseño del proyecto, han sido adecuados. Aproximadamente un 60% de los alumnos consideran que la dificultad de la práctica muestra un buen acuerdo con los contenidos teóricos de la asignatura. Alrededor del 30% de los estudiantes manifiestan que la práctica les ha ayudado a comprender mejor la asignatura; en cambio el 47% tiene una opinión neutral a este respecto. Algo muy similar ocurre cuando se les preguntó si esta práctica había servido para que pudiesen aplicar algún tipo de conocimiento más general o de tipo transversal. En cambio, un 60% de los encuestados manifestaron que con esta práctica adquirieron conocimientos nuevos de la asignatura.

El tiempo disponible para realizar la práctica resultó suficiente para el 60% de los alumnos. Aproximadamente la mitad de los estudiantes manifestó que la práctica grupal les resultó útil para compartir conocimientos con sus compañeros y así comprender mejor la asignatura, y alrededor de un 70% de los encuestados afirmó que la práctica les había motivado. Quizá los resultados más alentadores son los correspondientes a las tres últimas preguntas de la encuesta. Tal como se puede ver en la figura 4, y a pesar de las horas de trabajo que supone la realización de esta práctica, más del 80% de los estudiantes valoran positivamente este tipo de actividades (en las que se pueda innovar), y consideran positivo que se propongan más prácticas de este tipo tanto en la propia asignatura como en otras. Finalmente, más de un 80% de los alumnos califican la práctica con una nota de 4 o de 5.

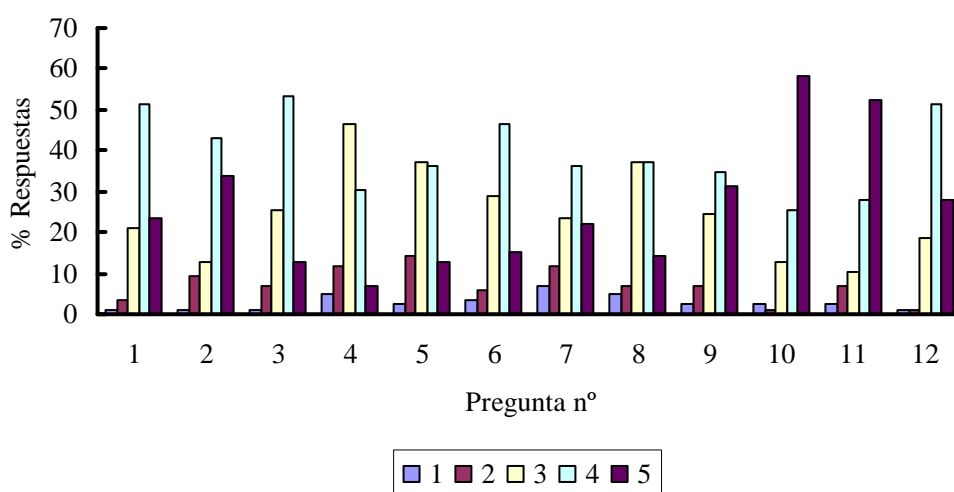


Figura 4. Resultados obtenidos en la encuesta de valoración de la actividad.

En la parte final de la encuesta se dispuso de un espacio para que los estudiantes escribiesen cualquier comentario sobre la práctica que quisiesen realizar. Aunque pocos hicieron uso de esta posibilidad, una gran parte de los comentarios realizados fueron bastante positivos. Algunos de estos comentarios se recogen a continuación.

- “Me ha parecido una práctica muy motivante y ha sido de las prácticas que más me han gustado.”
- “Útil y motivante, aunque requiere demasiado tiempo.”
- “Debería disponerse de más tiempo para su realización, aunque me ha gustado.”

## 5. Conclusiones

En este artículo se ha descrito una práctica grupal, basada en el método de proyectos, organizada por varios profesores del Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Oviedo. El objeto de la práctica es que los estudiantes diseñen un cohete de agua y sus sistemas auxiliares de llenado de aire, agarre y lanzamiento. El objetivo final buscado es que el cohete impacte en un blanco determinado o bien alcance una distancia máxima con una presión de aire limitada. Los alumnos deben realizar los cálculos teóricos necesarios, a partir de un modelo matemático del cohete que se les proporciona, así como validar estos cálculos mediante pruebas de campo, para estimar las variables de partida óptimas que permitan alcanzar el objetivo propuesto. Tras una sesión introductoria inicial en la que se definen los objetivos y condiciones de realización de la práctica, y se muestra a los alumnos un cálculo de ejemplo, cada grupo de estudiantes debe realizar una planificación de su proyecto y reunirse periódicamente con el profesor para resolver dudas e informar sobre su desarrollo.

Al concluir el plazo de ejecución de la actividad, el proyecto final se evalúa en un concurso abierto al público en el que cada grupo presenta su diseño ante los profesores de la asignatura y ante sus propios compañeros. Los alumnos deben demostrar, por una parte, que su diseño es lo bastante adecuado y, por otra, que sus cálculos son lo suficientemente precisos para que el cohete alcance la distancia pedida. Al finalizar el curso los estudiantes dieron su opinión sobre esta metodología docente mediante una encuesta anónima. Los resultados de dicha encuesta muestran que, a pesar del tiempo dedicado, los alumnos valoran muy positivamente la práctica puesto que les permite crear e innovar, y consideran que se deberían incluir más prácticas de este tipo en las asignaturas de la carrera.

Fecha de cierre de la redacción del artículo: 23 de junio de 2010

Barrio, R., Blanco, E., Martínez, J. y Galdo, M. (2010). El aprendizaje orientado a proyectos en Mecánica de Fluidos a través de la experimentación con cohetes de agua. *Red-U. Revista de Docencia Universitaria*. Número ? Consultado el dd/mm/aa en [http://www.um.es/ead/Red\\_U/?/](http://www.um.es/ead/Red_U/?/)

## Referencias

- Blanco, E., Martínez, J., Barrio, R., Argüelles, K. y Galdo, M. (2009). La propulsión hidrodinámica vista a través de un experimento práctico: concurso de diseño y lanzamiento de cohetes de agua. Actas 17 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (artículo 297), Valencia, España.
- Bose, S.K. (1983). The rocket problem revisited. American Journal of Physics, 51, 463-464.
- de Miguel, M. (2005). Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el Espacio Europeo de Educación Superior (Proyecto EA2005-0118). España: Universidad de Oviedo.
- Finney, G.A. (2000). Analysis of a water-propelled rocket: A problem in honors physics. American Journal of Physics, 68, 223-227.
- Gale, D.S. (1970). Rocket Trajectory Simulation. American Journal of Physics, 38, 1475.
- González, J. y Wagenaar, R. (2003). Tuning Educational Structures in Europe. Final Report. Deusto: Deusto and Groningen Universities.
- Gowdy, R.H. (1995). The physics of perfect rockets. American Journal of Physics, 63, 229-232.
- Nelson, R.A. y Wilson, M.E. (1976). Mathematical Analysis of a Model Rocket Trajectory. Part I: The powered phase. The Physics Teacher, 14, 150-161.
- Nelson, R.A., Bradshaw, P.W., Leinung, M.C. y Mullen, H.E. (1976). Mathematical Analysis of a Model Rocket Trajectory. Part II: The coast phase. The Physics Teacher, 14, 287-293.
- Ota, T. y Umemura, A. (2001). Parametric Study of Water Rocket for Optimum Flight. Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 49, 382-387.
- Prusa, J.M. (2000). Hydrodynamics of a Water Rocket. SIAM Review, 42, 719-726.
- Tomita, N., Watanabe, R. y Nebylov, A.V. (2007). Hands-on education system using water rocket. Acta Astronautica, 61, 1116-1120.