

# Curso Práctico de Mecánica de Fluidos Computacional.

María Teresa Parra Santos\*, José Rubén Pérez Domínguez\*

\*Departamento Ingeniería Energética y Fluidomecánica, Escuela de Ingenierías Industriales

[terpar@eii.uva.es](mailto:terpar@eii.uva.es)

**RESUMEN:** La mecánica de fluidos computacional (CFD) es una herramienta de diseño fundamental cuyo desarrollo en los últimos años se ha visto favorecido por la potencia de los ordenadores. Existen un número significativo de códigos cuya toma de contacto puede ser más o menos sencilla. El riesgo reside en su manejo como una caja negra donde se introduce información y se extraen resultados sin conocer unos mínimos fundamentos o sin la capacidad de interpretar su validez. Las destrezas necesarias deben ser adquiridas con la práctica, desarrollando proyectos de una escala adecuada para asignaturas de grado, pero con la estructura y etapas de un proyecto real. En esta memoria se presentan las conclusiones alcanzadas de la implantación del curso de Mecánica de Fluidos Computacional en el Campus Virtual de la Universidad de Valladolid. El curso incluye una serie de talleres que permiten a los alumnos de "Modelado Numérico de Sistemas Fluidos" de 4º curso del Grado de Ingeniería Mecánica no solo adquirir destrezas en el campo de la CFD, sino asimilar conceptos aprendidos en otras materias como mecánica de fluidos y máquinas de fluidos. Además, hay cuestionarios que ayudan a comprender conceptos aprendidos y se propone la visualización de videos.

**PALABRAS CLAVE:** proyecto, innovación, docente, Casos test, TIC, talleres colaborativos, evaluación por pares, plataforma Moodle, videos, Aprendizaje Virtual; Opinión; Foros

## INTRODUCCIÓN

En el marco de la formación universitaria de carreras técnicas, un dispositivo móvil es una herramienta de trabajo que permite seguir cursos online de las mejores universidades (Tabla 1), ver videos de prácticas de laboratorio o tutoriales de modelado. Los materiales multimedia permiten no solo comprender conceptos, sino identificar sus aplicaciones en el mundo real. La red permite visualizar grandes infraestructuras que serían imposibles visitar.

La docencia de Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) debe ir acompañada de una importante componente práctica. En este trabajo se describe la metodología empleada por el área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Valladolid. Son objetivos prioritarios que el alumno comprenda las fortalezas y debilidades de los modelos numéricos y que aprenda a identificar los fenómenos fluido-mecánicos y de transferencia de calor que ha aprendido en otras asignaturas. Como competencias transversales destacan: desarrollar el análisis crítico, la creatividad en la propuesta de mejoras, la capacidad de escribir informes técnicos, mejora de habilidades numéricas y de pos-proceso. La intención es preparar a alumnos principiantes para que sean autosuficientes en la práctica.

El actual marco de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) permite el desarrollo sencillo de talleres colaborativos o competitivos, herramientas de evaluación objetiva, foros de encuentro, retroalimentación, acceso a la información, entre otras utilidades. Los alumnos aprecian el material suministrado en un entorno virtual donde pueden interactuar con sus compañeros y el profesor trabajando a su propio ritmo y con la dedicación que le sea más conveniente tanto espacial como temporalmente, Brown (1).

Está ampliamente reconocido que la comprensión y asimilación de conceptos es tanto más eficiente cuanto más activa es la labor del alumno. Dale (2) evidenció que la capacidad de retención de un alumno era un 75% cuando tenía un papel activo en un debate. Otra de las ventajas de realizar talleres en un entorno colaborativo es la adquisición de destrezas transversales como el desarrollo del análisis crítico que permita identificar los puntos débiles del modelo

o la creatividad y autosuficiencia para proponer mejoras. Igualmente se potencia el uso eficiente de los recursos disponibles para generar los mejores resultados con las limitaciones del entorno de trabajo. Se pretende a escala de una asignatura, prepararles para el contexto real de un entorno laboral.

**Tabla 1.-** Cursos Online relacionados con Mecánica de Fluidos

Temática	Contenido
CFD	National Program on Technology Enhanced Learning (NPTEL, 2014) - India
Turbulencia	Lars Davidson (2014) from Chalmers University - Suecia
Combustión	Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS, 2012) - Francia

## PLANTEAMIENTO DEL CURSO DE CFD

Aunque los alumnos reciben en horas de teoría los fundamentos de la CFD, desconocen los recursos necesarios para realizar las tareas, por lo que en horas de problemas se les debe enseñar el manejo del programa de simulación de propósito general. La realización de un tutorial, permite la visión global del programa y una primera toma de contacto con los diferentes menús y utilidades del programa.

La realización de un cuestionario sobre diferentes aspectos del tutorial (Figura 1) permite fijar la atención en los aspectos más relevantes. Como conclusión, muchos alumnos reconocen haber aprendido más de lo que creían antes de contestar al cuestionario. Además se familiarizan con el proceso de envío y posterior evaluación de las 4 tareas que componen el proyecto a realizar.

Para cada tema, los alumnos tienen actividades estilo pasatiempo (rellenar huecos o agrupar, se adjunta una muestra en las Figuras 2 a y b) que le permite comprobar que ha comprendido los conceptos mínimos.

**CUESTIONARIO DEL TUTORIAL Elbow de FLUENT**  
 por [usuario] enviado en sábado, 27 de septiembre de 2014, 15:40

CUESTIONARIO\_TUTORIAL.docx

**Instrucciones para la evaluación**

Recuerda que debes evaluar honestamente el trabajo de un compañero de forma anónima.

Baremo:

- Enumerar los diferentes modelos de turbulencia disponibles en fluent. (2 pts por cada modelo hasta un máximo de 10 pts)
- Introduce un contorno de temperatura en el codo (Presente/Ausente)
- Explicar el procedimiento para visualizar el perfil de temperatura en una línea de la salida (Excelente/Muy Pobre)
- Introduce una figura con los vectores de velocidad en el codo (Presente/Ausente)
- En este tutorial se refina la malla, averigua que métodos de adaptación de la malla ofrece Fluent. (2 pts por cada modelo hasta un máximo de 10 pts)
- Introducir un comentario sobre lo difícil que ha sido realizar el tutorial y contestar al formulario (Excelente/Muy Pobre)
- Deséale SUERTE a tus compañeros en la realización del Proyecto de Fluent (Presente/Ausente)

Figura 1. Instrucciones de evidencias de haber hecho el tutorial.

**Códigos Comerciales de MFC**  
 Matching exercise

Correct! Well done. Your score is 40%.

Check

Fluent	Volúmenes Finitos desarrollado por Patankar (USA) :-)
PowerFlow	Métodos Digitales (ecuaciones de Lattice Boltzmann) :-)
Ansys	Elementos Finitos :-)
Fire	Volúmenes Finitos desarrollado por AVL (Austria) :-)
Phoenics	Volúmenes Finitos desarrollado por Spallding (UK) :-)

Check

Index =>

Para ver si conoces las características de los diferentes códigos de volúmenes finitos, te proponemos que vincules los códigos con sus características

a)

**Gap-fill exercise**

Correct! Well done. Your score is 67%.

Los esquemas de primer orden presentan el error de **difusión** numérica. Por lo tanto son estables pero muy disipativos. El esquema upwind de primer orden es adecuado para números de Peclet en valor absoluto **mayores a 2**.

Los esquemas de orden superior presentan el error de **oscilaciones** numéricas. Por lo tanto son inestables pero no son muy estables.

El esquema de diferencias finitas de segundo orden es adecuado para números de Peclet en valor absoluto **menores a 2**.

El criterio de estabilidad requiere que todos los coeficientes sean **positivos**.

Check Hint

Index =>

Para ver si se han comprendido bien las peculiaridades de los diferentes esquemas de volúmenes finitos, proponemos rellenar los huecos del siguiente texto

b)

Figura 2. Muestra de actividades de repaso de conceptos.

Desde el 2001 hasta la actualidad, se ha impartido docencia de CFD proponiendo diferentes proyectos prácticos a los alumnos de Ingeniería en los bloques o grados Energético o Mecánico de la Universidad de Valladolid. Los proyectos seleccionados para realizar talleres debían cumplir una serie de características: debían ser sencillos desde el punto de vista geométrico pero a la vez estar caracterizados por complejos patrones de flujo y que éstos estuviesen adecuadamente documentados en la

bibliografía. Una metodología similar fue aplicada con éxito en las Universidades de Iowa, Iowa State y Cornell referenciado por Stern y otros (3).

Además, se apoyan los ejemplos de problemas a resolver con la visualización de videos encontrados en YouTube. El rango de oferta de videos varía desde clases magistrales de MIT que presentan de forma formal y didáctica los conceptos básicos de la materia; hasta reportajes divulgativos de grandes infraestructuras tecnológicas; pasando por videos de prácticas de laboratorio, construcción de dispositivos, etc.

**MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LOS TALLERES**

Se ha creado un baremo para puntuar las memorias de los proyectos y que a la vez, es una guía a los alumnos sobre las etapas a seguir en cualquier proyecto de Mecánica de Fluidos Computacional. Se valora el empleo del léxico característico de la Mecánica de Fluidos Computacional, así como la estrategia para mejorar el modelo numérico, la capacidad de síntesis de los resultados y conclusiones de los mismos. Por lo tanto es importante la coherencia en la toma de decisiones y el análisis crítico con los resultados obtenidos.

Su evaluación por PARRA SANTOS, MARIA TERESA  
 Calificación: 76 of 100  
 Ponderación: 16

**Formato de evaluación**

**Aspecto 1**  
 (ANEXO4: Descripción del campo fluido) ¿Aporta una descripción del comportamiento aerodinámico localizando zonas de recirculación, centros de torbellinos, desprendimientos de capas límites, velocidad de rotación de torbellinos?  
 Calificación \*\*\*\*  
 Comentario No localiza zonas de capa límite adherida, ni puntos de desprendimiento.

**Aspecto 2**  
 (ANEXO4: Descripción del campo fluido + caso y dato de Fluent) ¿Adjunta los archivos caso y dato en el archivo comprimido \*.zip? (2 pts) ¿Los archivos son legibles por el fluent y muestran residuales estables?  
 Calificación \*\*\*\*\* Excelente  
 Comentario

**Aspecto 3**  
 (ANEXO4) ¿Incluye los contornos de vorticidad, líneas de corriente ...? (2pts/contorno) MAX 10 pts.  
 Calificación 6 / 10  
 Comentario Solo vorticidad, vectores y líneas de corriente

**Aspecto 4**  
 (ANEXO4: ) ¿Indica evidencias de resultados susceptibles de mejora?.  
 Calificación \*\*\*\*\* Excelente  
 Comentario

**Aspecto 5**  
 (ANEXO4: ) ¿Es adecuado el método para la estimación de la potencia disipada a partir de los resultados suministrados por el fluent?.  
 Calificación \*\*\*\*\* Excelente  
 Comentario

**Aspecto 6**  
 (ANEXO4: Modelo) ¿Las conclusiones sobre los puntos fuertes y débiles del modelo son relevantes y coherentes con el resto del proyecto? ¿Se muestra actitud crítica y propuestas de mejora?  
 Calificación 2 / 10  
 Comentario ausente  
 No se habla de difusión artificial, de dificultades asociadas al algoritmo de resolución.

Figura 3. Muestra de los aspectos evaluables dentro de una de las tareas del proyecto.

Los trabajos de los talleres son evaluados por pares, resultando muy enriquecedor para los estudiantes realizar la evaluación razonada del trabajo de otro compañero. Siendo requisito justificar una calificación inferior a la máxima, lo que les obliga a volver a repasar los conceptos de la materia. También ven que resultados se obtienen al utilizar estrategias que ellos no habían probado y conocen el patrón de flujo para otros parámetros del proyecto diferentes al que han utilizado. La figura 3 es una muestra de la evaluación de una de las tareas que compone el proyecto.

La colaboración entre alumnos poniendo sobre una gráfica resultados de cada grupo usando diferentes rangos de variación de parámetros, es una de las motivaciones que les impulsa a aportar los mejores resultados que las limitaciones de tiempo y potencia de cálculo les hayan permitido alcanzar.

**DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Durante el primer periodo de este proyecto, 2013-14, la oferta de talleres colaborativos del curso de Mecánica de Fluidos en la plataforma Moodle para alumnos del grado de Ingeniería Mecánica se revisó en la comunicación (4). Además un poster fue presentado en la V Jornada de Innovación Docente organizada por la Universidad de Valladolid (5).

Durante la prórroga del proyecto, 2014-15, el uso de videos para simplificar las explicaciones y facilitar la comprensión de conceptos ha sido resumida en la comunicación (6). Además, la metodología de tareas colaborativas y revisión por pares fue presentada en la contribución del congreso internacional TEEM'14 (7). Esta última contribución fue seleccionada para elaborar un artículo ampliado en un 40% para la publicación *Journal of Cases on Information Technology*. Este manuscrito ampliado está actualmente en proceso de revisión.

**DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Cada fin de cuatrimestre se realiza una encuesta utilizando una herramienta de retroalimentación, para cuantificar el grado de satisfacción del aprendizaje de Mecánica de Fluidos Computacional a través de la realización de un taller colaborativo implementado en Moodle. En el curso 2014-15, el 80% de los alumnos completaron la encuesta.

Históricamente, algunos alumnos han manifestado su satisfacción al hacer un proyecto de Mecánica de Fluidos Computacional por ver el potencial que tiene la herramienta y por tener un control a la hora de tomar decisiones.

Algunos alumnos incluso consideran el proyecto como un pasatiempo e invertirían su tiempo libre en mejorar su modelo. Se estima que la incorporación de tareas para fijar conceptos aprendidos en clase, anima a los alumnos a ir profundizando más en el tema y a realizar otros proyectos por su cuenta. Una evidencia es el incremento de alumnos que solicitan realizar el TFG en el laboratorio de modelado numérico de mecánica de fluidos, a pesar de la dificultad de la materia.

Respecto a las respuestas abiertas, los alumnos manifiestan su deseo de dedicar más horas a esta materia impartida en 22.5 horas. Solo se dispone del 50% de la Asignatura de Modelado Numérico de Sistemas Sólidos y Fluidos de 45 horas presenciales en total.

La figura 4 muestra el grado de satisfacción de los alumnos respecto a la dificultad del proyecto, comprensión de conceptos así como adquisición de destrezas y conocimientos. Prácticamente el 100% de los estudiantes están de acuerdo o muy de acuerdo con la adquisición de destrezas y el aprendizaje de conceptos que no se pueden aprender en una clase de aula.

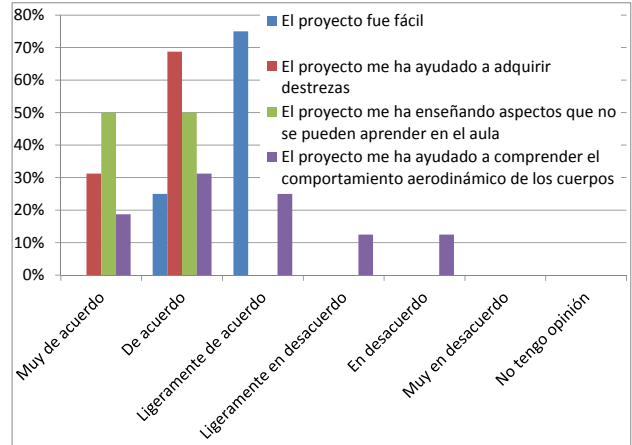


Figura 4. Grado de satisfacción con los talleres en 2014.

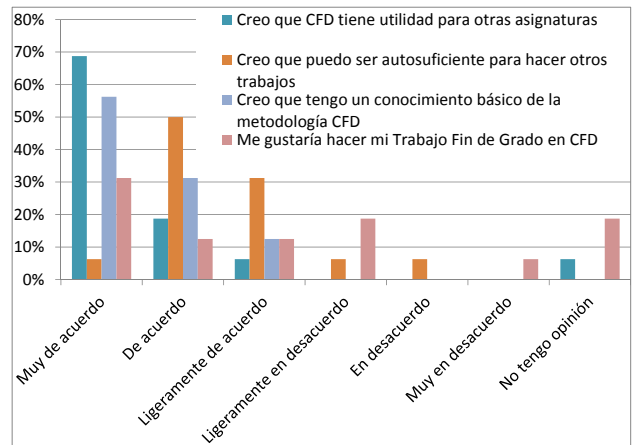


Figura 5. Percepción de la utilidad del taller en 2014.

La figura 5 muestra la percepción de la utilidad de esta materia para su futuro ejercicio profesional. Respecto al curso previo, se manifiesta un aumento de respuestas favorables sobre la percepción de la CFD como herramienta útil para otras materias estudiadas pasando del 50% del año pasado al casi 90% de este año.

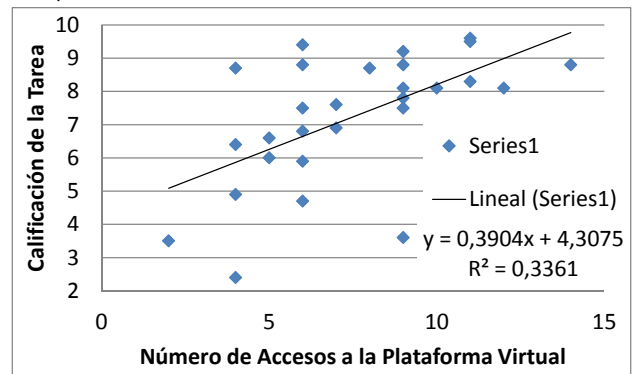


Figura 6. Correlación entre la actividad en el campus virtual y la calificación obtenida en 2014.

La figura 6 muestra el grado de correlación entre la actividad en el campus virtual y la calificación global obtenida en el taller propuesto. Cada taller tiene cuatro tareas con objeto de ayudar a la ejecución de todo el proyecto dentro del periodo asignado al modelado de fluidos. Siempre se ha considerado prioritario que los alumnos no deban hacer entrega de tareas durante el periodo dedicado al modelado de sólidos para no interferir con su aprendizaje.

## CONCLUSIONES

Aunque los estudiantes manifiestan dificultades al identificar los fenómenos físicos que originan el comportamiento del campo fluido. En realidad tienen conocimientos teóricos de sobra, pero quizá es la primera vez que se enfrentan a diagnosticar la causa de ciertos patrones. Es precisamente esta conexión entre los conceptos aprendidos en teoría en asignaturas previas y aplicaciones industriales sencillas lo que más les ilusiona por identificarlo con un paso hacia la realidad.

Además, la realización de un proyecto usando los talleres colaborativos, permite el fortalecimiento de destrezas transversales como análisis crítico de los resultados, capacidad de síntesis en la elaboración de la memoria y creatividad en el diseño de estrategias para hacer un uso eficiente de los limitados recursos computacionales.

Los resultados de la encuesta de satisfacción y de la correlación entre las calificaciones y la actividad en entorno virtual evidencian el éxito de la metodología utilizada. La dedicación del profesor en la planificación y seguimiento de las diferentes tareas secuenciales en la ejecución del proyecto, así como la ingente carga de trabajo en la revisión pormenorizada de las diferentes tareas realizadas por los alumnos tiene su recompensa en el nivel de comprensión alcanzado por los alumnos así como en el porcentaje de éxito en la asignatura.

## REFERENCIAS

1. Brown, J. S., "Growing Up Digital: How the Web Changes Work, Education, and the Ways People Learn". **2002** United States Distance Learning Association.
2. Dale E., "Audio-Visual Methods in Teaching". **1969** New York: The Dryden Press.
3. Stern F. Xing T. Yarbrough D.B. Rothmayer A. Rajagopalan G. et. al. "Hands-On CFD Educational Interface for Engineering Courses and Laboratories". *Journal of Engineering Education*, January, **2006** pp. 63-83
4. T. Parra, *Aprendizaje Práctico de Mecánica de Fluidos Computacional usando TIC*, V Congreso Internacional Latina de Comunicación Social. **2013** ISBN-13: 978-84-15698-29-6 / D.L.: TF-715-2013
5. M.T. Parra Santos, *Metodología Docente de Mecánica de Fluidos Computacional* V Jornada de Innovación Docente "Innovar para crecer, crecer para innovar. Universidad de Valladolid **2013**
6. Parra T., Material de YouTube para el aprendizaje virtual en asignaturas de Mecánica de Fluidos, *VI Congreso Internacional Latina de Comunicación Social*. **2014** ISBN-13: 978-84-15698-29-6 / D.L.: TF-715-2014
7. Parra M. T., Perez J. R., Castro, F. Workshops for learning in computational fluid mechanics Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - *TEEM '14* **2014** DOI: [10.1145/2669711.2669888](https://doi.org/10.1145/2669711.2669888)

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha visto favorecido por el apoyo de dos Proyectos de Innovación Docente de la Universidad de Valladolid: referencias PID/2013/7 y PID/2014/30.