

## Combustión

---

**CRÉDITOS:** 6 ECTS

---

**PROFESOR/A COORDINADOR/A:** Marcos Vera Coello ([marcos.vera@uc3m.es](mailto:marcos.vera@uc3m.es))

---

**UNIVERSIDAD DESDE LA QUE IMPARTE EL PROFESOR/A COORDINADOR/A:**  
UC3M

---

**¿HA DADO O VA A DAR AUTORIZACIÓN PARA GRABAR LAS CLASES DE ESTA ASIGNATURA?** No

---

**PROFESOR 1:** Marcos Vera Coello ([marcos.vera@uc3m.es](mailto:marcos.vera@uc3m.es))

**PROFESOR 2:** Mario Sánchez Sanz ([mssanz@ing.uc3m.es](mailto:mssanz@ing.uc3m.es))

**PROFESOR 3:** Eduardo Antonio Fernández Tarrazo ([eafernan@ing.uc3m.es](mailto:eafernan@ing.uc3m.es))

**PROFESOR 4:** César Huete Ruiz de Lira ([chuete@pa.uc3m.es](mailto:chuete@pa.uc3m.es))

---

**UNIVERSIDAD DESDE LA QUE IMPARTEN LOS PROFESORES 1, 2, 3 y 4:** UC3M

---

**¿HAN DADO O VAN A DAR AUTORIZACIÓN PARA GRABAR LAS CLASES DE ESTA ASIGNATURA?** No

---

**CONTENIDOS:**

1. Introducción

- Perspectiva histórica
- La ciencia de la combustión
- Desarrollos futuros

2. Ecuaciones de conservación para flujos reactivos

---

- Mezclas multicomponente
    - \* Fracciones másicas
    - \* Fracciones molares
    - \* Concentraciones molares
  - Ecuaciones de estado para mezclas de gases ideales
    - \* Ecuación térmica de estado
    - \* Ecuación calórica de estado
  - Transporte molecular en mezclas multicomponente
    - \* Velocidades de difusión
    - \* Transporte multicomponente
    - \* Simplificaciones usuales en problemas de combustión
  - Ecuaciones de conservación
    - \* Masa
    - \* Cantidad de movimiento
    - \* Especies
    - \* Energía
  - Escalas características y números adimensionales
- ### 3. Termoquímica
- La hipótesis de combustión completa
    - \* Mezcla estequiométrica
    - \* Relación de equivalencia (o dosado relativo)
    - \* Composición de la mezcla de productos en combustión completa
      - + Combustión pobre
      - + Combustión rica
  - Temperatura adiabática de llama
    - \* Definición
    - \* Calor de combustión
    - \* Cálculo de la temperatura adiabática de llama
      - + cp Variable
-

+ cp Constant

- Combustión completa vs. combustión incompleta

\* Especies mayoritarias y minoritarias

- Equilibrio químico en mezclas reactivas

\* La constante de equilibrio

\* Disociación de las especies mayoritarias

\* Efecto de la temperatura y la presión

4. Cinética de la combustión

- Cinética química

\* Tipos de reacciones elementales

\* Mecanismos detallados y reducidos

\* Mecanismos de un solo paso

\* El límite de alta energía de activación

- Ritmo de liberación de calor por reacción química

- Hipótesis de estado estacionario

- Hipótesis de equilibrio parcial

- Ejemplos

\* Combustión de hidrógeno

\* Combustión de hidrocarburos

\* Análisis de Zeldovich para la producción de NOx

5. Combustión en sistemas de composición homogénea

- Ecuaciones de conservación para sistemas de composición homogénea

- Combustión adiabática en un reactor bien agitado. Soluciones estacionarias

\* El número de Damköhler

\* Ignición y extinción: La curva en forma de S

- Teoría de Frank-Kamenetskii de explosiones térmicas en recintos cerrados

- Explosiones de radicales

\* Límites de explosión en mezclas H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>

\* Límites de explosión en mezclas HC-O<sub>2</sub>

---

- Ignición espontánea en una cámara de combustión de volumen variable
- Otros procesos de ignición

## 6. Frentes reactivos: Detonaciones y deflagraciones

- Relaciones de Rankine-Hugoniot
- Detonaciones
  - \* Estructura ZND
  - \* Detonaciones "galopantes"
  - \* Estructura real de las detonaciones
- Deflagraciones o llamas premezcladas
  - \* Estructura interna
  - \* Velocidad de propagación
    - + Variación con la presión y la relación de equivalencia
  - \* Energía mínima de encendido
  - \* Distancia de apagado
  - \* Límites de inflamabilidad

## 7. Llamas de difusión

- Combustión no premezclada
- Parámetros termoquímicos relevantes
- El límite de reacción infinitamente rápida
- Efectos de cinética finita
  - \* Llamas de difusión en contracorriente
  - \* Ignición y extinción: La curva en forma de S
- Ejemplos
  - \* Llamas de difusión de chorro
  - \* Interacción de llamas con torbellinos

## 8. Evaporación y combustión de gotas y sprays

- Evaporación de gotas
  - Combustión de gotas
  - Descripción homogeneizada de la combustión de sprays
-

## 9. Inestabilidades de la combustión

- Estiramiento y curvatura de la llama
- Inestabilidad termo-difusiva
- Inestabilidad hidrodinámica
- Inestabilidad termoacústica

## 10. Combustión turbulenta

- Combustión turbulenta premezclada
  - \* Escalas características
  - \* Diagrama de regímenes
  - \* Velocidad de llama turbulenta
- Combustión turbulenta no premezclada
  - \* Escalas características
  - \* Diagrama de regímenes
  - \* Llamas de difusión de chorro turbulentas

---

**METODOLOGÍA:** Clases en el aula.

---

**IDIOMA:** Se adaptará en función del auditorio.

---

**¿SE REQUIERE PRESENCIALIDAD PARA ASISTIR A LAS CLASES?**  
Videoconferencia

---

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Transport Processes in Chemically Reacting Flow Systems. D. E. Rosner. Dover. 2000.
- Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetics. D. A. Frank-Kamenetskii. Plenum Press. 1969.
- Fundamental Aspects of Combustion. A. Liñán & F. A. Williams. Oxford University Press. 1993.
- Combustion Theory. F. A. Williams. Benjamin-Cummings. 1985. 2 ed.
- Turbulent Combustion. N. Peters. Cambridge University Press. 2000.

---

## COMPETENCIAS

### Básicas y generales:

CG1 Poseer conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación, sabiendo traducir necesidades industriales en términos de proyectos de I+D+i en el campo de la Matemática Industrial;

CG2 Saber aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios, incluyendo la capacidad de integrarse en equipos multidisciplinares de I+D+i en el entorno empresarial;

CG4 Saber comunicar las conclusiones, junto con los conocimientos y razones últimas que las sustentan, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades;

CG5 Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo, y poder emprender con éxito estudios de doctorado.

### Específicas:

CE1: Alcanzar un conocimiento básico en un área de Ingeniería/Ciencias Aplicadas, como punto de partida para un adecuado modelado matemático, tanto en contextos bien establecidos como en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares.

CE2: Modelar ingredientes específicos y realizar las simplificaciones adecuadas en el modelo que faciliten su tratamiento numérico, manteniendo el grado de precisión, de acuerdo con requisitos previamente establecidos.

CE5: Ser capaz de validar e interpretar los resultados obtenidos, comparando con visualizaciones, medidas experimentales y/o requisitos funcionales del correspondiente sistema físico/de ingeniería.

### De especialidad “Modelización”:

CM2: Saber modelar elementos y sistemas complejos o en campos poco establecidos, que conduzcan a problemas bien planteados/formulados.

---

**¿SE VA A USAR ALGÚN TIPO DE PLATAFORMA VIRTUAL?** No.

---

**¿SE NECESITA ALGÚN SOFTWARE ESPECÍFICO?** No.

---

### **CRITERIOS PARA LA 1ª OPORTUNIDAD DE EVALUACIÓN:**

Los alumnos deberán demostrar que entienden y saben aplicar los conceptos aprendidos mediante la realización de trabajos propuestos en clase. Concretamente, a lo largo del cuatrimestre los alumnos deberán realizar y entregar 4 trabajos sobre los temas tratados en la asignatura (75% de la nota). Se valorará positivamente la asistencia a clase (10% de la nota) y se realizará un examen tipo test al finalizar el cuatrimestre (15% de la nota).

Estos criterios se utilizarán para evaluar las competencias CG1, CG2, CG4, CG5, CE1, CE2, CE5 y CM2.

---

### **CRITERIOS PARA LA 2ª OPORTUNIDAD DE EVALUACIÓN:**

Los mismos criterios que en la 1ª oportunidad.

---

### **OBSERVACIONES CURSO 2020-2021. PLAN DE CONTINGENCIA**

No hay cambios respecto de lo indicado más arriba.