

## 66381 - Hidrógeno

### Información del Plan Docente

**Año académico:** 2022/23

**Asignatura:** 66381 - Hidrógeno

**Centro académico:** 110 - Escuela de Ingeniería y Arquitectura

**Titulación:** 636 - Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética

**Créditos:** 3.0

**Curso:** 1

**Periodo de impartición:** Segundo semestre

**Clase de asignatura:** Optativa

**Materia:**

## 1. Información Básica

### 1.1. Objetivos de la asignatura

El principal objetivo de esta asignatura es dar a conocer al estudiante las nociones básicas para el aprovechamiento de las tecnologías del hidrógeno como vector energético, así como su cadena de valor completa, incluyendo la producción, transporte y almacenamiento, aprovechamiento y aplicaciones. Con una carga de 3 ECTS, la asignatura se conforma como una optativa transversal dentro del *Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética*, por lo que podrá ser cursada tanto en la intensificación eléctrica como térmica.

Paralelamente se propone la consecución de otros objetivos subsidiarios como:

- a) el aprendizaje de métodos para escoger y dimensionar los equipos vinculados a las tecnologías del hidrógeno y que mejor se adecúen a las necesidades industriales en las que se inserten.
- b) redactar documentos acordes con las necesidades de comunicación de los resultados en el punto a).
- c) identificar los riesgos asociados al uso de este material.

Estos planteamientos y objetivos están alineados con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, de la Agenda 2030 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>) y determinadas metas concretas, de tal manera que la adquisición de los resultados de aprendizaje de la asignatura proporcionan capacitación y competencia al estudiante para contribuir en cierta medida a su logro:

- Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

Meta 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

- Objetivo 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todo.

Meta 8.4 Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.

- Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras.

Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Meta 12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

Meta 12.4 De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

Meta 12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

## 1.2. Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

Las energías renovables constituyen la base del desarrollo futuro sostenible de la sociedad. Su gran inconveniente es la variabilidad y la estacionalidad. Se hace imprescindible, por tanto, idear un medio para la almacenar la energía excedentaria en momentos de máxima producción (p.ej. día en el caso de energía solar fotovoltaica), para que sea utilizada en momento de escasa a nula producción (p.ej. noche en el caso de solar fotovoltaica). En este contexto aparece el hidrógeno como forma de almacenamiento, o mejor descrito, como vector energético. El hidrógeno producido mediante fuentes renovables (electricidad independientemente de su origen -siempre que sea renovable- o procedente de la biomasa), puede ser almacenado y transportado hasta el lugar de consumo, donde será reconvertido en energía eléctrica, combustibles o fertilizantes renovables. Asimismo podrá ser utilizado como combustible en equipos de muy alta temperatura donde no es aconsejable la utilización de calor mediante fuentes eléctricas (industria del acero, cerámica, cemento, etc.).

## 1.3. Recomendaciones para cursar la asignatura

No hay recomendaciones específicas más allá de las derivadas del deseo de profundizar en una temática de gran futuro.

# 2. Competencias y resultados de aprendizaje

## 2.1. Competencias

Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

### *Competencias Genéricas*

- CB06.- Poseer y comprender 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.
- CB07.- Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB08.- Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB09.- Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10.- Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.
- CG01.- Realizar investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y métodos en relación con la eficiencia energética.
- CG02.- Realizar investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y métodos en relación con las energías renovables.
- CG03.- Ser capaz de comunicar los resultados de su propia investigación en forma de artículo científico ante una audiencia especializada.
- CG04.- Seguir la evolución tecnológica de las energías renovables y tener conocimiento prospectivo de esta evolución.
- CG05.- Aplicar conocimientos de ciencias y tecnologías avanzadas a la práctica profesional o investigadora de la eficiencia.
- CG6.- Identificar la legislación vigente y reglamentación aplicable al sector de las energías renovables y de la eficiencia energética
- CG07.- Valorar la aplicación de tecnologías emergentes en el ámbito de la energía y el medio ambiente.
- CG08.- Desarrollar la capacidad para asesorar y orientar sobre la mejor forma o cauce para optimizar los recursos energéticos en relación con las energías renovables.
- CG09.- Plantear y resolver problemas, interpretar un conjunto de datos y analizar los resultados obtenidos; en el ámbito de la eficiencia energética y la sostenibilidad.

## Competencias Específicas

CE01.- Capacidad para utilizar y desarrollar metodologías, métodos, técnicas, programas de uso específico, normas y estándares de computación.

CE02.- Capacidad para desarrollar y ejecutar proyectos de energías renovables.

CE03.- Conocimiento de la importancia e implicaciones del uso de la energía en el desarrollo de sociedad.

CE07.- Conocimiento de las tecnologías relativas a la movilidad sostenible.

CE08.- Describir las redes inteligentes asociadas a la gestión y distribución energética.

CE15.- Calcular sistemas de almacenamiento energético.

## 2.2. Resultados de aprendizaje

El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...

- Conocer distintos modos de almacenamiento de energía y las limitaciones de su intercambiabilidad
- Conocer la posibilidad de transformar energía eléctrica en química a través de vectores energéticos como el hidrógeno, el amoniaco o el gas natural sintético.
- Conocer los distintos electrolizadores existentes en el mercado y sus perspectivas de desarrollo.
- Conocer los tipos de pilas de combustible existentes en el mercado, así como sus limitaciones y características principales.
- Conocer los métodos de producción de hidrógeno a partir de moléculas orgánicas de origen renovable.
- Conocer las limitaciones de la producción de hidrógeno por métodos emergentes.
- Conocer el funcionamiento de las estaciones de abastecimiento de hidrógeno y de los vehículos propulsados por hidrógeno.
- Conocer los aspectos de seguridad básicos vinculados a la manipulación del hidrógeno, así como identificar la normativa aplicable en cada caso.

## 2.3. Importancia de los resultados de aprendizaje

El hidrógeno está llamado a ser el vector energético del futuro. Su papel resulta imprescindible en la descarbonización de la economía preconizada por la Unión Europea en el conocido como **Pacto Verde Europeo** (*European Green Deal*), según el cual se establece el año 2050 como la fecha límite para que el continente europeo deje de consumir combustibles de origen no renovable, principalmente basados en carbono fósil.

Paralelamente, en 2020 se publicaron en Europa y España sendos documentos (*A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe* y *Hoja de ruta del hidrógeno en España*) en las que se establecen las bases del uso del hidrógeno como elemento clave para la descarbonización de la economía. No menos importante en este contexto es la publicación en ese mismo año del *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)*, en el que se describe al hidrógeno como uno de los agentes imprescindibles en el cambio de paradigma.

La integración de una asignatura como ésta, de carácter optativo y común a las intensificaciones eléctrica y térmica del *Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética*, suponen un acercamiento al uso de este material como transportador de la energía del futuro.

## 3. Evaluación

### 3.1. Tipo de pruebas y su valor sobre la nota final y criterios de evaluación para cada prueba

El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación

#### Opción 1:

Es la opción más recomendable para la adquisición progresiva de los contenidos, habilidades y competencias de la asignatura.

La evaluación es global y comprende:

1. Realización de los problemas y casos propuestos (**CPP**) a lo largo del desarrollo de la asignatura. Ejercicios propuestos y resueltos valorados por observación.
2. Realización de trabajos tutelados (**TTE**). Los entregables correspondientes a trabajos tutelados (1-2 tareas por curso) consistirán en ejercicios para el desarrollo de habilidades en el cálculo de características de equipos y

procesos vinculados a la producción y aprovechamiento del hidrógeno. Se tratará de ejercicios resueltos de forma individual. Se valorarán, tanto la eficacia en la resolución, como la presentación de la herramienta (habitualmente será escrita *-siempre en soporte electrónico-*, pero eventualmente alguna de ellas puede serlo de forma oral *-dependiendo del tamaño de los grupos y de la disponibilidad horaria-*).

3. Realización de un ejercicio práctico de gran envergadura (*Trabajo Fin de Curso*) (**TFC**). Dicho ejercicio, que se realizará en grupos de 2 ó 3 alumnos, comprenderá el cálculo de las principales unidades necesarias para un proyecto vinculado a las tecnologías del hidrógeno, propuesto por el profesor de la asignatura. Se calificará atendiendo a la calidad de la resolución, a la fidelidad en los cálculos realizados y la presentación de los mismos.
4. Realización de un *examen* (**EXA**) al finalizar la asignatura. Esta prueba comprenderá una parte teórica y una práctica (problemas) relacionados con la asignatura. La resolución del examen siempre será individual.

La nota de la asignatura se calculará atendiendo a la siguiente ponderación:

$$\text{Nota} = 0.1 * \text{CPP} + 0.1 * \text{TTE} + 0.2 * \text{TFC} + 0.6 * \text{EXA}$$

Todas las categorías de evaluación se puntuarán sobre 10 puntos. Se precisará una nota mínima en el examen (**EXA**), de 4 puntos sobre 10 para superar la asignatura.

Los epígrafes 1 a 3 sólo serán puntuables durante el transcurso del periodo de impartición de la docencia de la asignatura.

### **Opción 2:**

Aquellos alumnos que decidan no utilizar el método de evaluación descrito como **Opción 1**, pueden optar por presentarse exclusivamente al examen de convocatoria (**EXA**). En este caso, la calificación de la asignatura se calculará como un 100% de la nota final.

$$\text{Nota} = 1.0 * \text{EXA}$$

Será posible ser evaluado por esta segunda opción tanto en primera como en segunda convocatoria.

El mencionado examen (**EXA**) será de similares características a las del examen final de la **Opción 1**, incluyendo adicionalmente el desarrollo de un problema de tipo práctico de mayor envergadura. Para el desarrollo de esta última prueba (herramienta *'ad-hoc'*) se dispondrá de un plazo adicional acorde a la complejidad del ejercicio que se plantee. En este caso la nota mínima en su conjunto para superar la asignatura será 5.0.

Las opciones de evaluación 1 y 2 son mutuamente excluyentes (puede optarse libremente por una u otra, pero no por combinaciones de ambas).

Las calificaciones alcanzadas serán válidas exclusivamente durante el curso académico en el que se obtengan.

## **4. Metodología, actividades de aprendizaje, programa y recursos**

### **4.1. Presentación metodológica general**

**El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

Los temas de esta asignatura describen la llamada "cadena de valor del hidrógeno", e incluye la producción, transporte, almacenamiento, seguridad, transformación y aplicaciones. También dedica una pequeña parte al análisis de los mercados de hidrógeno.

Se trata de una asignatura que combina la descripción de las principales técnicas de producción, transporte y almacenamiento y aprovechamiento, con el cálculo de las principales características de los equipos empleados en cada técnica.

La extensión de los temas en que se divide la asignatura no es homogénea, encontrando temas que requieren mayor número de horas de exposición y otros de menor duración. Algo similar ocurre respecto a la distribución de la tipología docente: algunos temas contienen una carga *?descriptiva?* mayor que otros, que prácticamente están desprovistos de dicho atributo, y sin embargo requieren de un mayor número de horas de resolución de ejercicios.

Aunque a lo largo del curso se alternan clases de teoría con clases de carácter práctico (resolución de ejercicios y casos de estudio), la asignatura tiene carácter eminentemente práctico como corresponde a unos estudios de máster universitario. Además, es imprescindible tener presente que se trata de una asignatura optativa común a dos intensificaciones dentro del Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Paralelamente a las clases de corte tradicional ("de pizarra" -teoría y problemas-), se desarrollarán sesiones en las que se haga uso de software especializado como Aspen HYSYS, Aspen Plus, HyRAM+ o gPROMS, así como herramientas de cálculo accesible y universal como Matlab, MS Excel, Python, etc.

### **4.2. Actividades de aprendizaje**

**El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

- Clases magistrales (15 h) donde se impartirá la teoría de los distintos temas que se han propuesto y se resolverán problemas modelo.

- Clases presenciales de resolución de problemas y casos (15 h). En estas clases se resolverán problemas por parte del alumno supervisado por el profesor. Los problemas o casos estarán relacionados con la parte teórica explicada en las clases magistrales.
- Sesión de prácticas especiales (2 h) correspondientes a visita a empresa, charla de expertos, seminario temático o similar, etc? como complemento formativo a las actividades anteriores.
- Trabajos tutelados (5 h no presenciales), individuales ó en grupo. Se propondrán 1 ó 2 actividades que serán tuteladas por los profesores.
- Trabajos de aplicación e investigación prácticos (15 h no presenciales), consistentes en la resolución en grupo (2 ó 3 alumnos) de un problema de gran envergadura. Será tutorizado por el profesor, corregido y puntuado.
- Estudio individual (20 h no presenciales). Se recomienda al alumno que realice el estudio individual de forma continuada a lo largo del semestre.
- Evaluación (3 h). Se realizará una prueba global (examen), donde se evaluarán los conocimientos teóricos y prácticos alcanzados por el alumno.

### 4.3. Programa

**El temario previsto para la asignatura es el siguiente:**

- Propiedades del hidrógeno. Métodos de estimación. Compresibilidad y licuación.
- Producción termoquímica: Reformado. Gasificación. Pirólisis. Ciclos termoquímicos.
- Producción electroquímica: electrólisis. Tipos de electrolizadores. Electrolizadores reversibles.
- Métodos de producción emergentes: hornos solares, electrólisis de alta temperatura, fotoelectrólisis, biohidrógeno.
- Normalización del hidrógeno como combustible. Propiedades y características.
- Almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno.
- Seguridad y análisis de riesgos.
- Pilas de combustible. Tipos de pilas, características y prestaciones.
- Estaciones de suministro de hidrógeno. Diagramas de flujo y equipos. Normativas aplicables.
- Vehículo eléctrico de pila de combustible. Otros vehículos abastecidos por hidrógeno.
- Aplicaciones estacionarias de pilas de combustible.
- Mercados de hidrógeno. Garantías de origen.

### 4.4. Planificación de las actividades de aprendizaje y calendario de fechas clave

El calendario detallado de comienzo de las actividades, así como el lugar de impartición de cada una de ellas es responsabilidad de la *Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)*, y puede ser consultado en tiempo y forma en la web pulsando aquí. Como referencia, puede consultarse las actividades del curso 2021-22 pulsando aquí. Adicionalmente, cada profesor informará sobre su disponibilidad para la atención de tutorías y sobre las modificaciones, puntuales o prolongadas que puedan producirse en éstas a lo largo del curso.

Se trata de una asignatura optativa de 3 créditos ECTS, lo que equivale a 75 horas de trabajo del estudiante, repartidas según la descripción del apartado 4.2 '*Actividades de aprendizaje*'

### 4.5. Bibliografía y recursos recomendados

<http://psfunizar10.unizar.es/br13/egAsignaturas.php?codigo=66381>