



## Proyecto/Guía docente de la asignatura

<b>Asignatura</b>	<b>SISTEMAS DE PROPULSIÓN ALTERNATIVOS</b>		
<b>Materia</b>	SISTEMAS DE PROPULSIÓN ALTERNATIVOS		
<b>Módulo</b>			
<b>Titulación</b>	<b>MÁSTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN</b>		
<b>Plan</b>	518	<b>Código</b>	54773
<b>Periodo de impartición</b>	2do cuatrimestre	<b>Tipo/Carácter</b>	OB
<b>Nivel/Ciclo</b>	Máster	<b>Curso</b>	2019-209
<b>Créditos ECTS</b>	6,0		
<b>Lengua en que se imparte</b>	Español		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	Francisco V. TINAUT FLUIXÁ		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	<a href="mailto:tinaut@eii.uva.es">tinaut@eii.uva.es</a> 983 42 33 67		
<b>Departamento</b>	Ing <sup>a</sup> Energética y Fluidomecánica		



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

---

### 1.1 Contextualización

---

La asignatura tiene carácter obligatorio en el Máster en Ing<sup>a</sup> de Automoción y es común para todos los alumnos.

Esta asignatura se enmarca dentro de las de contenidos específicos del Máster, impartándose en el segundo cuatrimestre, cuando el alumno ya conoce los contenidos más generales orientados a describir los diversos sistemas y tecnologías del automóvil (ingeniería de vehículos, tráfico y redes de transporte, normativa), así como conceptos específicos (motores térmicos, materiales, vibroacústica, sistemas electrónicos, sistemas de control), y conceptos relacionados con la ingeniería de fabricación.

### 1.2 Relación con otras materias

---

La asignatura tiene **relación directa** con otras del primer cuatrimestre (**Motores Térmicos, Ing<sup>a</sup> de Vehículos, Sistemas de los Vehículos Eléctricos**) y **relación parcial** con alguna del segundo cuatrimestre (**Dinámica de Vehículos y Seguridad Activa**).

### 1.3 Prerrequisitos

---

No hay establecidos con carácter formal, pero es deseable familiarización con los conceptos de motores térmicos, motores eléctricos y sistemas electrónicos de potencia.



## 2. Competencias

### 2.1 Generales

- G.1. poseer, comprender y aplicar conocimientos para **concebir, diseñar, organizar actuaciones, poner en práctica y adoptar un proceso** sustancial de creatividad e innovación para el desarrollo de nuevos conceptos e ideas.
- G.4. capacidad de **aprendizaje para el futuro** de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.
- G.5. poseer y comprender conocimientos para la comprensión sistemática del estudio y el dominio de las **habilidades y métodos de investigación** en el ámbito de la industria de automoción.
- G.7. capacidad de **promover y fomentar el avance tecnológico** desde una **perspectiva social justa y medioambientalmente sostenible**.

### 2.2 Específicas

- E.1. poseer y comprender conocimientos sobre la **industria de automoción**, el contexto económico, energético y medioambiental del automóvil, y la normativa general asociada.
- E.3. poseer y comprender conocimientos sobre los **vehículos automóviles**, su arquitectura, su comportamiento, y los **sistemas** que los integran.
- E.4. poseer y comprender conocimientos específicos sobre **sistemas de propulsión** convencionales y sus combustibles, sobre combustibles alternativos, sobre nuevos sistemas de propulsión y sobre nuevas arquitecturas de vehículos, incluyendo el almacenamiento de energía.
- E.6. poseer y comprender conocimientos y su aplicación en aspectos relacionados con los **sistemas eléctricos, electrónicos, de control y de comunicaciones** utilizados en los automóviles, incluyendo los **sistemas de tracción eléctrica y los convertidores de potencia**.
- E.9. poseer, comprender y aplicar conceptos sobre el **diseño de componentes**, y los **procesos de innovación**.



### 3. Objetivos

Conocer los aspectos energéticos y medioambientales de los sistemas de propulsión de los vehículos.

Conocer las líneas de desarrollo de los nuevos conceptos de motores térmicos avanzados.

Conocer las características de los combustibles usados en automoción.

Conocer los combustibles alternativos, sus propiedades, obtención y efectos medioambientales.

Conocer y analizar los sistemas de propulsión alternativos de tipo híbrido y eléctrico.

Conocer los aspectos fundamentales para el dimensionamiento y análisis de vehículos con propulsión eléctrica, incluyendo los sistemas de almacenamiento de energía.

Conocer los aspectos básicos y de funcionamiento de las pilas de combustible.

Conocer e identificar los impactos medioambientales más significativos en el ciclo de vida de un vehículo (fabricación, uso y fin de vida) y desde su fase de concepción (ecodiseño).

Conocer la legislación y la normativa medioambiental de tipo general y su aplicación al sector del automóvil.



#### 4. Contenidos y/o bloques temáticos

1. INTRODUCCIÓN
2. MOTORES TÉRMICOS AVANZADOS
3. COMBUSTIBLES PARA AUTOMOCIÓN
4. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS Y BIOCARBURANTES
5. VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA E HÍBRIDA
6. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
8. VEHÍCULOS CON PILA DE COMBUSTIBLE
9. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AUTOMOCIÓN

##### BLOQUE A. INTRODUCCIÓN

###### 1. INTRODUCCIÓN

Aspectos energéticos y medioambientales de los sistemas de propulsión de vehículos.  
Consumos de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Otras emisiones contaminantes.  
Necesidad de nuevos conceptos de propulsión para una mejora energética  
Requerimientos de desarrollo.  
Oportunidades de desarrollo para los nuevos conceptos.  
Programas de apoyo a los nuevos sistemas de propulsión eléctrica y con pila de combustible

##### BLOQUE B. MOTORES TÉRMICOS AVANZADOS

###### 2. MOTORES TÉRMICOS AVANZADOS

Motores convencionales y nuevos sistemas de combustión  
Mejora de los sistemas de propulsión convencionales (diésel, gasolina)  
Nuevos conceptos de combustión (HCCI, CAI, baja temperatura).

##### BLOQUE C. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

###### 3. COMBUSTIBLES PARA AUTOMOCIÓN

Propiedades generales de los combustibles  
Combustibles usados en automoción  
Aditivos y adición de compuestos oxigenados

###### 4. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS Y BIOCARBURANTES

Planteamiento general de los combustibles alternativos  
Gas natural  
GLP  
Biogás y biometano  
Hidrógeno: obtención y uso como combustible y en pilas de combustible  
Combustibles sintéticos  
Biocarburos alternativos a la gasolina y al gasóleo  
Gas de gasificación

## **BLOQUE D. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS**

### **5. VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA E HÍBRIDA**

Concepto y clasificación de vehículos eléctricos e híbridos

Vehículos híbridos

Rendimientos well-to-tank, tank-to-wheel y well-to-tank.

Eficiencias comparadas de vehículos térmicos, eléctricos, híbridos y con pila de combustible

Energía de tracción y modos de funcionamiento de vehículos híbridos

Ejemplos representativos de vehículos híbridos

Necesidades de desarrollo en relación con los nuevos sistemas de propulsión.

### **6. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Vehículos eléctricos

Motores térmicos como sistema de propulsión

Motores eléctricos como sistema de propulsión y generadores eléctricos

Frenado regenerativo

Convertidores de energía eléctrica

Sistemas de recarga y sustitución de baterías

Amplificadores de autonomía de los vehículos eléctricos

Gestión energética a bordo del vehículo

Ejemplos representativos de vehículos eléctricos

## **BLOQUE E. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

### **7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

Concepto de baterías

Tipos de baterías eléctricas

Características de las baterías eléctricas

Procesos de carga y descarga, y rendimientos asociados

Dimensionamiento de sistemas de baterías para vehículos eléctricos e híbridos

Supercondensadores

Sistemas mecánicos de almacenamiento de energía a bordo

## **BLOQUE F. VEHÍCULOS CON PILA DE COMBUSTIBLE**

### **8. VEHÍCULOS CON PILA DE COMBUSTIBLE**

Concepto y tipos de pilas de combustible

Características de las pilas PEM

Almacenamiento de hidrógeno

Sistemas integrados para el empleo de pilas en vehículos

Seguridad en el manejo de hidrógeno

Eficiencias y emisiones de los vehículos con pila de combustible

Dimensionamiento de vehículos con pila de combustible

## **BLOQUE G. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AUTOMOCIÓN**

### **9. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AUTOMOCIÓN**

Impacto ambiental durante la fabricación de vehículos

Impacto ambiental durante la utilización

Impacto ambiental del final de vida de los vehículos.

Análisis de ciclo de vida de vehículos y sistemas. Huella de Carbono de los vehículos.

Síntesis de los consumos energéticos, emisiones de CO<sub>2</sub> y generación de residuos de los vehículos térmicos, híbridos y eléctricos.

Etiquetado ambiental de vehículos



## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Tinaut, F.V. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos. Máster en Ingeniería de Automoción. 2018
- Larminie, J. y Lowry, J. *Electric Vehicle Technology Explained*. John Wiley and Sons, 2003 [Enlace Almena »](#)
- Mi, C., Abul Masrur, M. y Gao, D.W. *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*. Wiley, 2011 [Enlace Almena »](#)
- Ehsani, M., Gao, Y. y Emadi, A. *Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. CRC Press, 2005 [Enlace Almena »](#)
- Aparicio y otros, *El automóvil en la movilidad sostenible*. Informe ASEPA, 2018 [Enlace Almena »](#)
- Varios autores. *El gas natural en la movilidad*. GASNAM y ASEPA, 2017. [Enlace Almena »](#)

### Bloque A: INTRODUCCIÓN

Carga de trabajo en créditos ECTS: 

#### a. Contextualización y justificación

En este bloque, con una lección, se presentan los conceptos iniciales correspondientes a los aspectos energéticos y medioambientales de los vehículos, se indican los métodos para estimar las emisiones contaminantes de los mismos, se introduce la necesidad de nuevos conceptos de propulsión, y las posibilidades para ello. Finalmente se repasan brevemente los programas de apoyo a los vehículos con nuevos sistemas de propulsión.

#### b. Objetivos de aprendizaje

Conocer los aspectos energéticos y medioambientales de los sistemas de propulsión de los vehículos.

#### c. Contenidos

Aspectos energéticos y medioambientales de los sistemas de propulsión de vehículos.  
Consumos de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Otras emisiones contaminantes.  
Necesidad de nuevos conceptos de propulsión para una mejora energética  
Requerimientos de desarrollo.  
Oportunidades de desarrollo para los nuevos conceptos.  
Programas de apoyo a los nuevos sistemas de propulsión eléctrica y con pila de combustible

#### d. Métodos docentes

Clases magistrales de teoría en aula (T).

Clases prácticas de aula (A), sobre documentos específicos.

#### e. Plan de trabajo

Se desarrollará en aula durante la primera semanas y parte de la segunda.

#### f. Evaluación

Cuestiones en los exámenes escritos.



### g. Bibliografía básica

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

### h. Bibliografía complementaria

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2013 (disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/> )

EUCAR. The Automotive Industry. Focus on future R&D Challenges. 2009

EUCAR. The Electrification of the Vehicle and the Urban Transport System. 2009

Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.G., Emadi, A. *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory and Design*. CRC Press. 2005

FEDIT. Actuaciones e implicaciones para el Sector de Automóviles y Camiones de la Estrategia Española de Movilidad Sostenible. Observatorio Industrial Fabricantes de Automóviles y Camiones. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2009

FEDIT. Tendencias tecnológicas del sector de automoción. Repercusión de las líneas de innovación sobre las empresas en España. Observatorio Industrial Equipos y Componentes de Automoción. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2009

FITSA. Informe Basma 2007, 2008

ICCT, Real-World Exhaust Emissions from Modern Diesel Cars, 2014

IEA, Fuel Economy of Road Vehicles, Technology Roadmap, 2012

IVT, Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3.2, Report No. I-31/2013, 2013

Murrells, T. Road Transport Emission Factors and Fleet Data, Ricardo AEA, DMUG Meeting, London , 2012

Ntziachristos, L., Samaras, Z., Eggleston, S., GoriBen, N., Hassel, D., Hickman, A., et al. COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1). Copenhagen, Dinamarca: EEA, 2000

OECD. Can Cars Come Clean? Strategies for Low-Emission Vehicles. OECD report, 2004

Tinaut, F. Vehículos híbridos y con pila de combustible. Máster Energías Renovables y Eficiencia Energética. Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete, 2007

Tinaut, F. Eficiencia Energética en el Transporte, en *Energía: Las tecnologías de Futuro*. Club Español de la Energía, 2008

### i. Recursos necesarios

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador

### j. Temporalización

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
0,4 T+ 0,1 A	Semanas 1-3

**Bloque B: MOTORES TÉRMICOS AVANZADOS**Carga de trabajo en créditos ECTS: **a. Contextualización y justificación**

En este bloque, con una lección, se presentan los conceptos correspondientes a las mejoras de los motores térmicos convencionales (gasolina y diésel). A continuación de presentan los nuevos conceptos de combustión en motores (HCCI y similares).

**b. Objetivos de aprendizaje**

Conocer las líneas de desarrollo de los nuevos conceptos de motores térmicos avanzados.

**c. Contenidos**

Motores convencionales y nuevos sistemas de combustión  
Mejora de los sistemas de propulsión convencionales (diésel, gasolina)  
Nuevos conceptos de combustión (HCCI, CAI, baja temperatura).

**d. Métodos docentes**

Clases magistrales de teoría en aula (T).  
Asistencia a conferencias y jornadas específicas (O).

**e. Plan de trabajo**

Se desarrollará en aula durante las semanas tercera y parte de la cuarta.

**f. Evaluación**

Cuestiones en los exámenes escritos.

**g. Bibliografía básica**

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

**h. Bibliografía complementaria**

Aceves, S. M., Flowers, D. L., Martínez-Frías, J., Smith, J. R. "HCCI combustion: Analysis and Experiments". *Society of Automotive Engineers*. 2001-01-2077.

Dec, J E.; Epping, K. Aceves, S.M. Bechtold, R.L. (2002). "The Potential of HCCI Combustion for High Efficiency and Low Emissions". *Society of Automotive Engineers*. 2002-01-1923.

Lu, X. C., Chen, W., Huang, Z. A fundamental study of the control of the HCCI combustion and emissions by fuel design concept combined with controllable EGR. Part1: The basic characteristics of HCCI combustion. *Fuel*, 84:1074-1083, 2005.

Lu, X. C., Chen, W., Huang, Z. A fundamental study of the control of the HCCI combustion and emissions by fuel design concept combined with controllable EGR. Part 2: Effect of operating conditions and EGR on HCCI combustion. *Fuel*, 84:1084-1092, 2005.

Zhao, F.; Asmus, T.W., Assanis, D.N. Dec, J.E., Eng, J.A., Najt, P.M. (2003). *Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines: Key Research and Development Issues*. Society of Automotive Engineers. ISBN 076801123X.

**i. Recursos necesarios**

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador

**j. Temporalización**

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
0,2 T+ 0,2 O	Semanas 3-4

**Bloque C: COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**Carga de trabajo en créditos ECTS: **a. Contextualización y justificación**

En este bloque, con dos lecciones, se presentan los conceptos correspondientes a las propiedades de los combustibles para automoción, así como los combustibles alternativos y los biocarburantes.

**b. Objetivos de aprendizaje**

Conocer las características de los combustibles usados en automoción.  
Conocer los combustibles alternativos, sus propiedades, obtención y efectos medioambientales.

**c. Contenidos****3. COMBUSTIBLES PARA AUTOMOCIÓN**

Propiedades generales de los combustibles  
Combustibles usados en automoción  
Aditivos y adición de compuestos oxigenados

**4. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS Y BIOCARBURANTES**

Planteamiento general de los combustibles alternativos  
Gas natural  
GLP  
Biogás y biometano  
Hidrógeno: obtención y uso como combustible y en pilas de combustible  
Combustibles sintéticos  
Biocarburantes alternativos a la gasolina y al gasóleo  
Gas de gasificación

**d. Métodos docentes**

Clases magistrales de teoría en aula (T).  
Clases prácticas de aula (A), sobre documentos específicos.

**e. Plan de trabajo**

Se desarrollará en aula durante las semanas cuarta a quinta.

**f. Evaluación**



Cuestiones en los exámenes escritos.

**g. Bibliografía básica**

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

**h. Bibliografía complementaria**

-, Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center. US Department of Energy.

AMF, Fuel Information: Diesel and Gasoline. International Energy Agency, Energy Technology Network, 2015. Disponible en [http://www.iea-amf.org/content/fuel\\_information/diesel\\_gasoline](http://www.iea-amf.org/content/fuel_information/diesel_gasoline)

Andrés y Rodríguez Pomatta, *Calor y Frío Industrial I*. UNED

CAMPASA. *Manual técnico sobre la utilización de combustibles líquidos en la industria*. Nº 12 Sept. 1985

DNV. "Safety Assesment of Methane-operated Vehicles, for the nordic natural gas bus project". Technical Report Nº 92-3537. 1992.

Elvers, B. (Editor) *Handbook of Fuels: Energy Sources for Transportation*, Wiley-VCH, 2008

European Expert Group on Future Transport Fuels, Future Transport Fuels Report, January 2011.

Hamelinck, C.N., Hooijdonk, G.V. y Faaij, A.P.C. (2005). Etanol From Lignocellulosic Biomass: Techno-Economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term. *Biomass Bioener.*, **28**, 384-410.

Heizel, Building the Hydrogen and Fuel Cell Future in Europe. March 25, 2009

IDAE, "Nuevos combustibles y tecnologías de producción: Situación y perspectivas para automoción". Ed. IDAE. Madrid, 2008.

JEC. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. WELL-to-WHEELS Report, Version 3c, July 2011

Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción. Publicado por la Agencia Andaluza de la Energía. VA-897-2009.

Mittelbach, M.; Remschmidt, C., Biodiesel, el manual completo, Boersedruck Ges m.b.H, Viena, 2007.

Muñoz M., Payri F., *Motores de combustión interna alternativos*. Cap. 10 (pp. 229-253). Servicio de Publicaciones de la E. T. S. de Ingenieros Industriales, UPM, 1994.

MVV InnoTec GmbH, Stichting ENGVA. "Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities. Module 4d: Natural Gas Vehicles". Eschborn, 2002.

Owen K., Coley T., *Automotive Fuels Reference Book*. Ed. SAE, Inc., 1995

Tinaut, F., Melgar, A., Briceño, Y., Castaño, V. (1998), "Motor Biofuels: History, Current Status and Future Perspectives," 1998 Fisita World Automotive Congress, Paris

Tinaut, F.V. Capítulo 3. Combustibles para automoción y su huella de carbono. En *El Automóvil en la Movilidad Sostenible*. Informe ASEPA, 2018

Castro, M.A. y Tinaut, F.V. Capítulo 6. Propiedades físico-químicas del gas natural. En *El gas natural en la movilidad*. Monografía GASNAM, 2017

**i. Recursos necesarios**

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador

**j. Temporalización**

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
0,4 T+ 0,1 A	Semanas 4-5



## Bloque D: VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1,4

### a. Contextualización y justificación

En este bloque, con dos lecciones, se presentan los conceptos correspondientes a los vehículos de propulsión eléctrica e híbrida, así como los modos de tracción correspondientes a los vehículos híbridos (caso más general). Se presentan también los elementos más importantes de los vehículos eléctricos (motores, convertidores, sistemas de gestión energética).

### b. Objetivos de aprendizaje

Conocer y analizar los sistemas de propulsión alternativos de tipo híbrido y eléctrico.

### c. Contenidos

#### 5. VEHÍCULOS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA E HÍBRIDA

Concepto y clasificación de vehículos eléctricos e híbridos

Vehículos híbridos

Rendimientos well-to-tank, tank-to-wheel y well-to-tank.

Eficiencias comparadas de vehículos térmicos, eléctricos, híbridos y con pila de combustible

Energía de tracción y modos de funcionamiento de vehículos híbridos

Ejemplos representativos de vehículos híbridos

Necesidades de desarrollo en relación con los nuevos sistemas de propulsión.

#### 6. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Vehículos eléctricos

Motores térmicos como sistema de propulsión

Motores eléctricos como sistema de propulsión y generadores eléctricos

Frenado regenerativo

Convertidores de energía eléctrica

Sistemas de recarga y sustitución de baterías

Amplificadores de autonomía de los vehículos eléctricos

Gestión energética a bordo del vehículo

Ejemplos representativos de vehículos eléctricos

### d. Métodos docentes

Clases magistrales de teoría en aula (T).

Clases prácticas de aula (A), sobre programas de cálculo específicos.

### e. Plan de trabajo

Se desarrollará en aula durante las semanas quinta a octava.

### f. Evaluación

Cuestiones en los exámenes escritos.

Trabajo práctico de evaluación de energías de tracción de distintos vehículos en diferentes condiciones de funcionamiento.

### g. Bibliografía básica

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.



#### **h. Bibliografía complementaria**

---

- , "Honda Civic IMA". Manual de producto, 2003
- , "Toyota Hybrid System THS II". documento técnico, 2004
- Ayob. Review on Electric Vehicle, Battery Charger, Charging Station and Standards. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(2): 364-373, 2014
- Beretta, J. *Automotive electricity. Electric Drives*. Wiley, 2010.
- Chan, C.C. The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proc. Of the IEEE, V. 90, N. 2, 2002
- Chan. The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles, and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, pp. 704-718, 2007
- Chan. The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 2, pp. 247-275, 2002
- CONCAWE, EUCAR and JRC (the Joint Research Centre of the EU Commission), Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-to-WHEELS Report Version 1, November 2003
- Directiva 93/59/CEE del Consejo del 28 de junio de 1993 por la que se modifica la Directiva 70/220/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor, 1993
- Ehsani, M. Gao, Y., Emadi, A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. CRC Press, 2010.
- ERTRAC. European Roadmap Hybridisation of Road Transport. January 26, 2011
- ERTRAC-EPOSS-SMARTGRIDS. European Roadmap. Electrification of Road Transport. October, 2009.
- EUCAR. The Electrification of the Vehicle and the Urban Transport System. 2009
- Fraile Mora. *Máquinas Eléctricas*. MacGrawHill, 5 E. 2003
- IDAE, *Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica*, Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012
- Información técnica adicional diversa sobre vehículos eléctricos, híbridos y con pila de combustible de las marcas: BMW, Daimler Chrysler, Delphi, Ford, General Motors, Jeep, Mazda, Nissan, Renault, Volkswagen, ZYTEK.
- International Energy Agency. Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles, 2009
- JRC Technical Reports. WELL-TO-TANK Appendix 2 - Version 4ª Summary of energy and GHG balance of individual pathways, 2014. Disponible en <http://iet.jrc.ec.europa.eu/>
- Larminie, J., Lowry, J., *Electric Vehicles Technology Explained*, John Wiley and Sons, 2003
- Matsuki, M., Hirano, Y. y Matsubara, A., "Development of a Power Train for the Hybrid Automobile – the Civic IMA", Honda R&D Technical Paper, FISITA, Barcelona, 2004
- Meyer P. A., King J. M. y Kelly D., "Progress in Development and Application of Fuel Cell Power Plants for Automobiles and Buses"; International Fuel Cells, LLC; SAE SP-1425, 1999-01-0533
- Mi C., Masrur, M.A., Gao, D. W. *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*, Wiley, 2011
- Yamaguchi, J., "Toyota Prius: La mejor ingeniería de vehículo de 2004", Automotive Engineering International en español, Abril/junio 2004, pp. 12-21

#### **i. Recursos necesarios**

---

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador.

Libro Excel con fórmulas y expresiones correspondientes a las fuerzas de tracción de los vehículos.

#### **j. Temporalización**

---



CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
1,2 T+ 0,2 A	Semanas 5-8

**Bloque E: SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**Carga de trabajo en créditos ECTS: **a. Contextualización y justificación**

En este bloque, el de mayor carga de la asignatura, se presentan los conceptos correspondientes a los sistemas de almacenamiento de energía, de los cuales los más importantes para los vehículos son las baterías. Se estudian por ello las características de las baterías, los conceptos asociados a su carga y descarga, y su rendimiento, finalizando con la metodología de dimensionado para su empleo en vehículos eléctricos e híbridos.

**b. Objetivos de aprendizaje**

Conocer los aspectos fundamentales para el dimensionamiento y análisis de vehículos con propulsión eléctrica, incluyendo los sistemas de almacenamiento de energía.

**c. Contenidos****7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

Concepto de baterías  
Tipos de baterías eléctricas  
Características de las baterías eléctricas  
Procesos de carga y descarga, y rendimientos asociados  
Dimensionamiento de sistemas de baterías para vehículos eléctricos e híbridos  
Supercondensadores  
Sistemas mecánicos de almacenamiento de energía a bordo

**d. Métodos docentes**

Clases magistrales de teoría en aula (T).  
Clases prácticas de aula (A), sobre programas de cálculo específicos.  
Prácticas de laboratorio en banco de carga-descarga de baterías (L)

**e. Plan de trabajo**

Se desarrollará en aula y en el laboratorio durante las semanas octava a decimotercera.

**f. Evaluación**

Cuestiones en los exámenes escritos.  
Trabajo práctico de evaluación de energías de tracción de distintos vehículos en diferentes ciclos de homologación, incluyendo dimensionamiento de baterías.  
Memorias de las prácticas de laboratorio.

**g. Bibliografía básica**

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

**h. Bibliografía complementaria**



Beretta, J. *Automotive electricity. Electric Drives*. Wiley, 2010.

Burke. Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE Vol. 95, No. 4, pp. 806-820. April 2007

Chen, M. y Rincón-Mora, G., Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance. IEEE. 2006

Ehsani, M. Gao, Y., Emadi, A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press, 2010.

IEA. Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles. 2011

Jiang, J. y Zhang, C. *Fundamentals and Applications of Lithium-Ion Batteries in Electric Drive Vehicles*. Wiley. 2015

Larminie, J. y Lowry, J. *Electric Vehicles Explained*. John Wiley and Sons, 2003

Pullen, K. y Ellis, C. "The Vehicle as Kinetic Energy System", ATZ Autotechnology 10 2008 Volume 8 57

Ter-Gazarian, A. *Energy storage for power systems*. Peter Peregrinus, 1994

Yilmaz, Battery Chargers Topologies, IEEE. 2012

**i. Recursos necesarios**

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador.

Libro Excel con fórmulas y expresiones correspondientes a los procesos de carga y descarga de baterías.

Banco experimental de carga y descarga de baterías con adquisición de datos.

**j. Temporalización**

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
1,0 T+ 0,2 A + 0,8 L	Semanas 8-13

**Bloque F: VEHÍCULOS CON PILA DE COMBUSTIBLE**

Carga de trabajo en créditos ECTS:

**a. Contextualización y justificación**

En este bloque, se presentan los conceptos específicos relativos a los vehículos con pila de combustible, incluyendo las características de las pilas, sus tipos, el almacenamiento de hidrógeno a bordo, las eficiencias comparadas con otros tipos de vehículos y el dimensionamiento de los sistemas de propulsión basados en pilas de combustible.

**b. Objetivos de aprendizaje**

Conocer los aspectos básicos y de funcionamiento de las pilas de combustible.

**c. Contenidos**

**8. VEHÍCULOS CON PILA DE COMBUSTIBLE**

- Concepto y tipos de pilas de combustible
- Características de las pilas PEM
- Almacenamiento de hidrógeno
- Sistemas integrados para el empleo de pilas en vehículos
- Seguridad en el manejo de hidrógeno
- Eficiencias y emisiones de los vehículos con pila de combustible



## Dimensionamiento de vehículos con pila de combustible

### d. Métodos docentes

Clases magistrales de teoría en aula (T).

Clases prácticas de aula (A), sobre problemas y metodologías de dimensionado.

### e. Plan de trabajo

Se desarrollará en aula durante las semanas decimotercera a decimocuarta.

### f. Evaluación

Cuestiones en los exámenes escritos.

### g. Bibliografía básica

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

### h. Bibliografía complementaria

de Wit, M.P., Faaij, A. "Impact of hydrogen onboard storage technologies on the performance of hydrogen fuelled vehicles: A techno-economic well-to-wheel assessment", Int. J. Hydrogen Energy, 32, pp. 4859 – 4870, 2007

Ehsani, M. Gao, Y., Emadi, A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press, 2010.

Fuel Cell Power for Transportation 2000, SAE SP-1505

Future Wheels. Interviews with 44 Global Experts On the Future of Fuel Cells for Transportation And Fuel Cell Infrastructure AND A Fuel Cell Primer. Northeast Advanced Vehicle Consortium. Boston, November 2000.

Hirschenhofer. *Fuel Cell Handbook*. Fourth Edition, Federal Energy Technology Center, DOE, 1998.

IDAE, "Nuevos combustibles y tecnologías de producción: Situación y perspectivas para automoción". Ed. IDAE. Madrid, 2008.

McKinsey. A portfolio of power-trains for Europe: A fact-based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles. 2010.

Mi, C., Abul Masrur, M., Wenzhong Gao, D. *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives*, Wiley, 2011

Proyecto [CITYCELL](#): Demostración de autobuses a hidrógeno con pila de combustible en operación real. En Madrid se operará un autobús fabricado en España. Fecha de inicio: 2002. Fecha final: 2006.

Proyecto [CUTE](#): Transportes urbanos limpios para Europa. Demostración de una flota de 30 autobuses urbanos en 10 ciudades europeas. Fecha de inicio: 2001. Fecha final: 2006. Coordina: EVOBUS. Participación española: EMT, TMB, [AIR LIQUIDE](#), [GAS NATURAL](#), [REPSOL YPF](#), Abelló-Linde, BP, EvoBus Ibérica.

### i. Recursos necesarios

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador.

### j. Temporalización

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
0,4 T+ 0,2 A	Semanas 13-14

**Bloque G: IMPACTO AMBIENTAL DE LA AUTOMOCIÓN**Carga de trabajo en créditos ECTS: **a. Contextualización y justificación**

En este último bloque se presentan los conceptos relativos a los impactos de los vehículos en las tres fases de su vida: fabricación, utilización y final de vida útil. Se describen los mismos y se cuantifican con casos reales correspondientes a España, comparando cuando es posible los impactos de los vehículos convencionales, los eléctricos y los híbridos.

**b. Objetivos de aprendizaje**

Conocer e identificar los impactos medioambientales más significativos en el ciclo de vida de un vehículo (fabricación, uso y fin de vida) y desde su fase de concepción (ecodiseño). Conocer la legislación y la normativa medioambiental de tipo general y su aplicación al sector del automóvil.

**c. Contenidos****9. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AUTOMOCIÓN**

Impacto ambiental durante la fabricación de vehículos  
Impacto ambiental durante la utilización  
Impacto ambiental del final de vida de los vehículos.  
Análisis de ciclo de vida de vehículos y sistemas. Huella de Carbono de los vehículos.  
Síntesis de los consumos energéticos, emisiones de CO<sub>2</sub> y generación de residuos de los vehículos térmicos, híbridos y eléctricos.  
Etiquetado ambiental de vehículos

**d. Métodos docentes**

Clases magistrales de teoría en aula (T).  
Asistencia a charlas y jornadas específicas (O).

**e. Plan de trabajo**

Se desarrollará en aula durante las semanas decimocuarta a decimoquinta.

**f. Evaluación**

Cuestiones en los exámenes escritos.

**g. Bibliografía básica**

Tinaut, F. Apuntes de Sistemas de Propulsión Alternativos, Máster Ing<sup>a</sup> Automoción, 2018.

**h. Bibliografía complementaria**

Acciona. Retos y oportunidades de la I+D+i en Transporte con propulsión eléctrica. 2009.

FITSA. Informe BASMA. 2007.

Tinaut, F.V. (coordinador). *El Sector de Automoción y el Medio Ambiente. Situación de Castilla y León*. Foro de Automoción de Castilla y León, 2002

Tinaut, F.V. y García Sendra, G.. Tendencias del Sector del Automóvil. en *Tendencias de la Industria Química y de Procesos*, Vol 2. Ariel, 2006

Tinaut, F.V. (coordinador). *Evaluación básica de Análisis de Ciclo de Vida de la fabricación, uso y fin de vida de los automóviles y camiones en España*. Observatorio de Fabricantes de Automóviles y Camiones. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011.



Tinaut, F.V. Capítulo 11. Impactos medioambientales en el ciclo de vida de los vehículos. En *El Automóvil en la Movilidad Sostenible*. Informe ASEPA, 2018

#### i. Recursos necesarios

Aula con medios de proyección y pizarra de tiza o rotulador.

#### j. Temporalización

CARGA ECTS	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO
0,4 T+ 0,2 A	Semanas 1-15

### 5. Métodos docentes y principios metodológicos

En el **aula** se imparten los conceptos del programa, mediante transparencias cuya copia se pone previamente a disposición de los alumnos. La impartición trata de introducir los conceptos más importantes, Se pretende realizar abstracciones de las situaciones reales buscando el fundamento y el modelo energético a las que responden. Los ejercicios de aplicación de conceptos incluyen la resolución de problemas numéricos de casos con datos reales, incidiendo en los resultados de las variables tecnológicas y también en aspectos económicos.

Se pretende que las clases sean participativas por parte de los alumnos, con el profesor planteando temas y sugiriendo cuestiones más allá del contenido de las transparencias y sobre todo de actualidad en el contexto energético.

La **parte práctica de la asignatura** incide sobre el análisis de la información sobre vehículos reales con sistemas de propulsión alternativos (eléctricos, híbridos, con combustibles no convencionales), para obtener datos y estimar valores que se puedan asimilar a los de los conceptos teóricos considerados.

Los **trabajos prácticos** incluye la simulación de consumos energéticos y emisiones de vehículos a velocidad constante y en ciclos de conducción (urbano y extraurbano)

Los trabajos a desarrollar por el alumno sólo o en pareja están especialmente orientados a desarrollar su capacidad crítica y de abstracción de conceptos y de aplicación de los mismos.

Las **prácticas de laboratorio** se realizan con un banco de carga-descarga de baterías, que permite realizar estos procesos por separado o bien de forma combinada. Estos procesos se definen en términos de las intensidades C de las baterías utilizadas, por lo que los resultados son totalmente escalables a baterías de las capacidades usadas en los vehículos eléctricos reales.

Igualmente tienen carácter práctico y aplicado las **visitas** a fábricas de motores y componentes, las **charlas** relacionadas con motores térmicos avanzados y con pilas de combustible de las Jornadas de Ing<sup>a</sup> Energética del Depto. IEF, y las charlas de profesionales de las empresas de automoción que se organicen. También se propone la asistencia a **jornadas externas** a la Universidad, pero relacionadas con la materia de la asignatura (p.e., sobre vehículos eléctricos).



## 6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teóricas regladas	40	Estudio y elaboración de trabajos individual y grupal del estudiante	90
Clases prácticas de aula	8		
Clases prácticas de simulación y de laboratorio	8		
Otras actividades: conferencias, visitas técnicas	4		
Total presencial	<b>60</b>	Total no presencial	<b>90</b>

## 7. Sistema y características de la evaluación

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Trabajos individuales o grupales	10-40%	Fecha(s) de subida al Campus Virtual indicada en el enunciado de cada trabajo.
Memorias de prácticas	0-20%	Ídem.
Examen final escrito sobre cuestiones teóricas y ejercicios prácticos.	50-80%	Convocatoria Ordinaria y Extraordinaria.

### CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

- **Convocatoria ordinaria:**
  - La calificación de la asignatura se obtendrá de la suma ponderada, sobre 10 puntos, de la calificación de los instrumentos de evaluación. Para superar la asignatura se requerirá que esta calificación sea igual o superior a 5.0 puntos, siempre que la calificación del examen sea superior a 4 sobre 10 puntos.
- **Convocatoria extraordinaria:**
  - Iguales a la ordinaria.

## 8. Consideraciones finales

En el Plan de Estudios renovado, el contenido de esta asignatura se relaciona fuertemente con la de Sistemas de los Vehículos Eléctricos.

Los apuntes de la asignatura se pondrán a disposición de los alumnos a través del **Campus Virtual**. Adicionalmente, también se ponen a disposición otro material docente (problemas, documentos de interés), así como los enunciados de los trabajos prácticos y la recogida de los documentos y trabajos de los alumnos.



Como tales apuntes, en cuanto al texto en sí, sin llegar a un desarrollo extenso del mismo, hemos procurado incluir lo necesario para exponer de forma clara los conceptos, establecer clasificaciones y prestar apoyo a los cuadros y gráficas. En cada lección se incluye una bibliografía de referencia para ampliar información. Por no tener ánimo de explotación comercial de los apuntes, se ha utilizado material gráfico de diversos orígenes, procurando citar la referencia correspondiente.

Se han realizado pensando en que **serán completados por los alumnos con anotaciones** y correcciones de posibles erratas durante la asistencia a las clases teóricas donde se explican y amplían estos conceptos.

Difícilmente se puede estudiar la teoría de la asignatura y asimilar los conceptos con estos apuntes si no se ha asistido a las clases de teoría, problemas y laboratorio.

Estos apuntes se pueden modificar y corregir todos los años por parte del profesor, por lo que es conveniente utilizar la última versión que está disponible en el campus virtual.

