



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1:** Fuentes de energía a partir de las que se produce hidrógeno actualmente. Fuente: La Economía del Hidrógeno.

**Figura 2:** Procesos para la producción de hidrógeno clasificados según la fuente de energía. Fuente: La Economía del Hidrógeno.

**Figura 3:** Esquema del proceso de reformado con vapor de agua. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno

**Figura 4:** Proceso de gasificación de un combustible. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 5:** Tabla de eficiencias en función del tipo de proceso. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 6:** Tabla de eficiencias y temperaturas de algunos ciclos termoquímicos. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 7:** Diagrama de bloques del ciclo SI. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 8:** Esquema del ciclo UT-3. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 9:** Esquema de los procesos de descarbonización. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 10:** Comparación entre el reformador convencional (proceso químico) y el de membranas (proceso termolítico). Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 11:** Diagrama de bloques para el ciclo Zn/ZnO. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 12:** Balances termodinámicos para la reacción de la electrólisis a 1 atm y diferentes temperaturas. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 13:** Demandas energéticas del proceso electrolítico a 1 atm en función de la temperatura. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 14:** Escenario futuro para aprovechar las sinergias de diversos microorganismos en la producción de hidrógeno. Fuente: Métodos de producción del Hidrógeno.

**Figura 15:** Análisis DAFO sobre la producción de Hidrógeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 16:** Rangos de costes de las tecnologías en la producción de hidrógeno. Fuente: Energy and the Hydrogen Economy.

**Figura 17:** Esquema de proceso de un electrolizador. Fuente: National Research European Council.

**Figura 18:** Diagrama de funcionamiento de una Unidad de Generación de Hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 19:** Balance de Masas de una Unidad de Generación de Hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 20:** Balance de Energía de una Unidad de Generación de Hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 21:** Eficiencia de Conversión de una Unidad de Generación de Hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 22:** Eficiencia Energética de una Unidad de Generación de Hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

	<b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b>  <b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b>	
--	--	--

**Figura 23:** Costes del hidrógeno en función del coste de la electricidad. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 24:** Fabricantes y modelos de electrolizadores en el mercado. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 25:** Magnitudes físicas y energéticas del Hidrógeno, Metano y Propano. Fuente: Ingeniería Química.

**Figura 26:** Características de los materiales para almacenamiento como gas comprimido. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 27:** Características de los materiales para almacenamiento como líquido comprimido. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 28:** Características de los materiales para almacenamiento de hidruros metálicos. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 29:** Características de los materiales para almacenamiento de hidruros metálicos alcalinos. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 30:** Características de los materiales para almacenamiento de hidrógeno. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 31:** Eficiencias de almacenamiento en función del método de almacenamiento. Fuente: Sistemas de Almacenamiento del Hidrógeno.

**Figura 32:** Análisis DAFO del sistema de almacenamiento del Hidrógeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 33:** Clasificación de los depósitos de almacenamiento de hidrógeno. Fuente: Hydrogen Delivery Yechnology Roadmap.

**Figura 34:** Análisis DAFO de la distribución de Hidrógeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 35:** Clasificación del Hidrógeno Gaseoso en función de su pureza. Fuente: Compressed Gas Association.

**Figura 36:** Usos del Hidrógeno Gaseoso en función de su pureza. Fuente: Compressed Gas Association.

**Figura 37:** Clasificación del Hidrógeno Líquido en función de su pureza. Fuente: Compressed Gas Association.

**Figura 38:** Usos del Hidrógeno Líquido en función de su pureza. Fuente: Compressed Gas Association.

**Figura 39:** Empresas Productoras de Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 40:** Empresas Almacenistas de Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 41:** Empresas Distribuidoras de Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 42:** Industrias consumidoras de Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 43:** Participación de los Actores en el Precio de Venta al Consumidor. Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas de Colombia.

**Figura 44:** Fabricantes de Pilas de Combustible en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 45:** Tipos y características de Pilas de Combustible en el mercado. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 46:** Instituciones relacionadas con el Sector del Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

	<b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b>  <b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b>	
--	--	--

**Figura 47:** Empresas de consultoría e ingeniería del Sector del Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 48:** Instituciones de Investigación y Desarrollo del Sector del Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 49:** Organismos relacionados del Sector del Hidrógeno en España. Fuente: Asociación Española del Hidrógeno.

**Figura 50:** Especificaciones técnicas de Equipos y unidades de los mismos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 51:** Esquema del sistema de producción propuesto. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 52:** Esquema con las partes que forman un Aerogenerador. Fuente: Gamesa

**Figura 53:** Tabla de valores discretizados de la curva de potencia del aerogenerador G-90. Fuente: Gamesa.

**Figura 54:** Imagen del electrolizador Norsk Atmospheric Type 5040. Fuente: Norsk Hydro.

**Figura 55:** Tabla de unidades de equipos y coste de los mismos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 56:** Composición porcentual de la inversión. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 57:** Velocidades medias del viento en un emplazamiento genérico. Fuente: Centro Nacional de Metereología.

**Figura 58:** Horas de viento dependiendo de la velocidad del mismo. Fuente: Centro Nacional de Metereología.

**Figura 59:** Cuadro Resumen de la Estacionalidad de la Generación de Energía. Fuente: Red Eléctrica Española.

**Figura 60:** Ratios de consumos y productividad del electrolizador. Fuente: Norsk Hydro

**Figura 61:** Producción diaria de Hidrógeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 62:** Tabla de estacionalidad en la producción de Hidrógeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 63:** Distribución de costes de explotación. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 64:** Cuadro de amortización de equipos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 65:** Cuadro resumen de deuda e intereses. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 66:** Cuadro resumen de costes financieros I. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 67:** Cuadro resumen de costes financieros II. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 68:** Gráfica de incrementos anuales del precio del Hidrogeno. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 69:** Tabla de ingresos planteados. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 70:** Cuenta Resultados I. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 71:** Cuenta Resultados II. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 72:** Cuenta Resultados III. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 73:** Ratios Cuenta Resultados. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 74:** Cuenta de Resultados – Punto de Equilibrio I. Fuente: Elaboración Propia.

	<b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b>  <b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b>	
--	--	--

**Figura 75:** Cuenta de Resultados – Punto de Equilibrio II. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 76:** Cuenta de Resultados – Punto de Equilibrio III. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 77:** Precios de Venta para alcanzar el Punto de Equilibrio. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 78:** Principales ratios cuenta resultados en el punto de equilibrio. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 79:** Flujos de Caja I. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 80:** Flujos de Caja II. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 81:** Flujos de Caja III. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 82:** Ratios económicos estado inicial. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 83:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Coste Inversión de Equipos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 84:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Aumento Eficacias de Equipos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 85:** Gráfica de incrementos anuales del precio del Hidrogeno. Análisis de Sensibilidad I. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 86:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Disminución Combustibles Alternativos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 87:** Gráfica de incrementos anuales del precio del Hidrogeno. Análisis de Sensibilidad II. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 88:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Aumento Combustibles Alternativos. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 89:** Cuadro resumen de deuda e intereses I. Análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 90:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Aumento Costes Financieros. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 91:** Cuadro resumen de deuda e intereses II. Análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 92:** Ratios económicos dentro del análisis de sensibilidad. Disminución Costes Financieros. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 93:** Comparativo de precios de venta mínimos. Análisis de Sensibilidad. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 94:** Comparativo Fondos Ajenos Renovación Equipos Año 11. Análisis de Sensibilidad. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 95:** Precios Equipos con bajada del 30%. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 96:** Composición Inversión en Equipos con bajada del 30%. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 97:** Composición Inversión en Equipos con bajada del 15%. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 98:** Aumento de Eficacias y rendimiento del Electrolizador. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 99:** Costes Equipos producción Energía Eólica. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 100:** Recursos fósiles. Fuente: Enerdata.

	<b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b>  <b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b>	
--	--	--

**Figura 101:** Europa – 30: Energía Total (hipótesis de referencia, en megatoneladas equivalentes de petróleo, mtep). Fuente: Green Paper “Toward a European Strategy for the security of energy supply”.

**Figura 102:** Europa – 30: Dependencia exterior por productos energéticos. Fuente: Green Paper “Toward a European Strategy for the security of energy supply”.

**Figura 103:** Consumo anual de energía primaria en kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep) y distribución por tipo de fuente (%). Fuente: IDEA - MITC.

**Figura 104:** Datos en miles de millones de barriles de reservas de crudo. Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2009.

**Figura 105:** Ejemplo de Generación Eólica de poco viento. Fuente: Red Eléctrica Española.

**Figura 106:** Ejemplo de Generación Eólica de bastante viento. Fuente: Red Eléctrica Española.

**Figura 107:** Costes medios de generación de energía (€/MWh). Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

**Figura 108:** Evaluación de los costes medios de generación por tecnologías renovables (€/MWh). Fuente: Ministerio Federal de Medioambiente de Alemania.

**Figura 109:** Coste de producción de electricidad con biomasa (€/MWh). Fuente: Ministerio Federal de Medioambiente de Alemania.

**Figura 110:** Reparto de los derechos de emisión en la UE y distancia a los objetivos de Kyoto. Fuente: La acción de la UE contra el cambio climático.

**Figura 111:** Evaluación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España. Fuente: Informe sobre la evolución de los Gases de Efecto Invernadero de CCOO.

**Figura 112:** Objetivos globales nacionales en relación a la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía final en 2020. Fuente: Propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, Enero 2008.

**Figura 113:** Emisiones producidas por 1 kWh de generación eléctrica calculados con el Análisis de Ciclo de Vida. Fuente: Hydropower-Internalised Costs and Externalised Benefits.

**Figura 114:** Emisiones por sectores en España en 2007. Fuente: Informe sobre la evolución de los Gases de Efecto Invernadero de CCOO.

**Figura 115:** Componentes de un Aerogenerador. Fuente: Gamesa.

**Figura 116:** Reparto de la potencia instalada de energía eólica offshore en el mundo. Fuente: EWEA.

**Figura 117:** Reparto de la potencia instalada en la Unión Europea. Fuente: EWEA.

**Figura 118:** Reparto de la potencia instalada en las distintas Comunidades Autónomas de España. Fuente: Expansión.

**Figura 119:** Evolución anual de la potencia eólica instalada y previsión según el Plan de Energías Renovables 2005- 2010. Fuente: Asociación Empresarial Eólica.

**Figura 120:** Análisis DAFO Sector Eólico. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 121:** Principales propiedades físicas del Hidrógeno. Fuente: La Economía del Hidrógeno.

	<b>Aprovechamiento de recursos energéticos renovables no integrables en la red eléctrica.</b>  <b>El caso de la producción de Hidrógeno.</b>	
--	--	--

**Figura 122:** Tablas de Presión y Factor de Compresión del Hidrógeno. Fuente: La Economía del Hidrógeno.

**Figura 123:** Equivalencias del Hidrógeno en distintas unidades. Fuente: La Economía del Hidrógeno.

**Figura 124:** Equivalencias del Hidrógeno en distintas unidades (II). Fuente: La Economía del Hidrógeno.

**Figura 125:** Costes de inversión para la producción de hidrógeno por SMR en función de la capacidad de la planta. Fuente: Plataforma Europea del Hidrógeno.

**Figura 126:** Estimación de costes de producción por el NRC. Fuente: National Research Council.

**Figura 127:** Esquema del proceso descentralizado de generación de hidrógeno vía SMR. Fuente: Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review.

**Figura 128:** Objetivos a corto plazo del DOE en cuanto a generación distribuida a partir de gas natural. Fuente: Hydrogen Program Review.

**Figura 129:** Diagrama de flujo del proceso para aplicación en una estación de generación de hidrógeno. Fuente: National Renewable Energy Laboratory.

**Figura 130:** Composición típica de los gases producto de un proceso SMR (gas natural) y de una gasificación (carbón). Fuente: Analysis and Report Prepared for The Natural Resources Defense Council.

**Figura 131:** Planta piloto para la integración de la producción de hidrógeno con captura de CO<sub>2</sub> en el GICC de ELCOGAS. Fuente: Prospects for an European Hydrogen Economy.

**Figura 132:** Integración de la producción de hidrógeno en la planta de GICC de ELCOGAS. Fuente: Prospects for an European Hydrogen Economy.

**Figura 133:** Rendimientos en la conversión térmica a hidrógeno con diferentes tecnologías nucleares. Fuente: Ciclo del Hidrógeno, Club Español de la Energía. Reactor avanzado refrigerado por gas (baja temperatura) siguiendo un ciclo supercrítico con CO<sub>2</sub> y produciendo hidrógeno mediante electrólisis de alta temperatura; GT-MHR-HTES: Reactor VHTR con producción de hidrógeno por electrólisis de alta temperatura; MHR-SI: Reactor de alta temperatura produciendo hidrógeno según el ciclo azufre-yodo, sin producción eléctrica.

**Figura 134:** Costes previstos de producción de hidrógeno con diversas tecnologías. Fuente: Club Español de la Energía.

**Figura 135:** Objetivos del DOE en la investigación de ciclos termoquímicos y de la tecnología de helióstatos. Fuente: Energy and the Hydrogen Economy.

**Figura 136:** Objetivos del DOE en la investigación de procedimientos fotoelectroquímicos. Fuente: Energy and the Hydrogen Economy.

**Figura 137:** Objetivos del DOE para la producción de hidrógeno a partir de la gasificación o la pirolisis de biomasa. Fuente: Energy and the Hydrogen Economy.

**Figura 138:** Objetivos del DOE para la producción de hidrógeno a partir de líquidos bioderivados. Fuente: Energy and the Hydrogen Economy.

**Figura 139:** Obtención de hidrógeno por energía eólica con conexión a red. Fuente: EWEA

**Figura 140:** Producción de hidrógeno por energía eólica sin conexión a red. Fuente: EWEA