



**Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía**

---

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE  
COGENERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA EN  
ESPAÑA 2010 - 2015 - 2020**

---

**División de Ahorro y Eficiencia Energética  
Departamento de Transformación de la Energía**

## INDICE

<b><u>1. INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>4</b>
1.1. Justificación y objetivos del estudio .....	4
1.2. Criterios del estudio.....	4
1.3. Alcance del estudio.....	5
<b><u>2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA COGENERACIÓN EN ESPAÑA Y EN LA UNIÓN EUROPEA</u></b> .....	<b>8</b>
2.1. Antecedentes legislativos y situación normativa actual .....	8
2.2. Producciones y potencia instalada en España .....	9
2.3. Situación en la Unión Europea.....	14
<b><u>3. POTENCIAL DE CALOR ÚTIL</u></b> .....	<b>16</b>
3.1. El calor útil en la estimación del potencial de cogeneración. Criterios de cálculo .....	16
3.2. Situación actual y previsiones .....	18
<b><u>4. POTENCIAL TECNOLÓGICO</u></b> .....	<b>20</b>
4.1. Metodología y determinación.....	20
4.2. Grado actual de penetración .....	26
<b><u>5. ESCENARIOS DE EVOLUCIÓN</u></b> .....	<b>27</b>
5.1. Metodología .....	27
5.2. Evolución de nuevas instalaciones. Resultados.....	28
5.2.1. Potencia instalada.....	28
5.2.2. Energía eléctrica y cobertura de la demanda de electricidad .....	31
5.2.3. Ahorro de energía primaria y cumplimiento del Protocolo de Kioto ..	32
5.2.4. Participación en los sectores de actividad.....	33
5.2.5. Potencial de microgeneración 2010 - 2015 - 2020 .....	37

5.2.6. Potencial de cogeneración de calor y frío de distrito .....	38
5.3. Potencial de renovación del parque actual .....	38
<b><u>6. CARACTERÍSTICAS DE LAS NUEVAS INSTALACIONES DEL POTENCIAL</u></b> .....	<b>40</b>
6.1 Tecnologías .....	40
6.2. Combustibles empleados.....	41
<b><u>7. BARRERAS AL DESARROLLO DEL POTENCIAL DE COGENERACIÓN</u></b> .....	<b>43</b>
7.1. Legislativas.....	43
7.2. Económicas .....	43
7.3. Administrativas.....	43
7.4. Técnicas .....	44
<b><u>8. CONCLUSIONES</u></b> .....	<b>45</b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	<b>47</b>
<b>ANEXO I. CARACTERIZACIÓN SECTORIAL DE LA DEMANDA DE CALOR ÚTIL</b> .....	<b>50</b>
<b>ANEXO II. DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN</b> .....	<b>75</b>

## 1. Introducción

---

El desarrollo sostenible del sector energético en la Unión Europea en lo que afecta a aspectos medioambientales y de la seguridad de suministro está fuertemente relacionado con la mejora de la eficiencia energética. En este contexto los sistemas de cogeneración o sistemas de energía total están reconocidos como una de las herramientas principales para conseguir alcanzar los objetivos europeos de mejora de la eficiencia energética. Esto es debido a sus beneficios consistentes en el ahorro de energía primaria, las pérdidas evitadas y la reducción de emisiones, en particular las de efecto invernadero. Además, la cogeneración contribuye positivamente a la seguridad de suministro y a la competitividad de los Estados Miembros de la Unión Europea. Por todos estos motivos, la promoción de los sistemas de cogeneración de alta eficiencia es una prioridad Comunitaria.

Derivado de lo anterior, la realización de un estudio sobre el potencial de cogeneración actualmente existente y su previsión futura se considera una herramienta informativa clave para el desarrollo efectivo de nuevas plantas de cogeneración, así como la ejecución de actuaciones desde la Administración de promoción y apoyo a este tipo de sistemas.

### 1.1. Justificación y objetivos del estudio

La Directiva 2004/8/CE relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía, adoptada el 11 de febrero de 2004 y con entrada en vigor en marzo de 2004 establece en su artículo 6 la necesidad de que cada Estado Miembro desarrolle un estudio de potencial de cogeneración de alta eficiencia<sup>1</sup>, incluida la microcogeneración de alta eficiencia.

El presente estudio de potencial de cogeneración de alta eficiencia, aparte de responder a la petición Comunitaria, pretende ayudar a fijar objetivos coherentes con las posibilidades de desarrollo de estos sistemas en España.

### 1.2. Criterios del estudio

En la realización del presente estudio de potencial se ha tenido especialmente en cuenta el artículo 6 de la Directiva - *potenciales nacionales de cogeneración de alta eficiencia* - que establece determinados criterios para la realización de los estudios de potencial de cogeneración. De este modo el presente documento contempla los siguientes aspectos:

- Se basa en datos científicos bien documentados y cumple los criterios del Anexo IV de la citada Directiva, los cuales se detallan más adelante

---

<sup>1</sup> Según la Directiva 2004/8/CE, se entiende por cogeneración de alta eficiencia la definida por las siguientes categorías:

- Aquella cuya producción aporta un ahorro de energía primaria de al menos el 10% en relación con los datos de referencia de producción separada de calor y electricidad
- Unidades de cogeneración a pequeña escala (potencia eléctrica inferior a 1 MWe) y microcogeneraciones (potencia eléctrica inferior a 50 kWe) que aporten ahorro de energía primaria

- Especifica todo el potencial de calor útil<sup>2</sup> - *térmico o frigorífico* - que pueda ser atendido por cogeneración de alta eficiencia, así como la disponibilidad de combustibles y otros recursos energéticos a efectos de su utilización en cogeneración
- Incluye un análisis de las barreras que impiden la realización del potencial de cogeneración de alta eficiencia. En particular, este análisis considera los obstáculos relacionados con los precios y costes de los combustibles y el acceso a los mismos, los relacionados con la red, los relacionados con los procedimientos administrativos y los relacionados con la falta de internalización de los costes externos en los precios energéticos

Del mismo modo se han considerado los criterios indicados en el Anexo IV de la Directiva - *Criterios de análisis de los potenciales nacionales de cogeneración de alta eficiencia* - según el cual el estudio de potencial ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Tipos de combustible que probablemente se vayan a usar para lograr los potenciales de cogeneración, incluidas consideraciones específicas sobre el potencial para aumentar el uso de las fuentes de energía renovable
- Tipos de tecnologías de cogeneración que probablemente se vayan a usar para lograr el potencial nacional
- Tipo de producción separada de calor y electricidad o energía mecánica que la cogeneración sustituye
- Desagregación entre el potencial de modernización de la capacidad existente y la construcción de capacidad nueva

También en el citado Anexo IV se indican dos criterios adicionales. Por una parte el estudio ha de incluir los mecanismos apropiados para evaluar la rentabilidad, en términos de ahorro de energía primaria, del aumento de la participación de la cogeneración de alta eficiencia en la producción energética total nacional. Este análisis de rentabilidad también ha de tener en cuenta los compromisos nacionales en materia de lucha contra el cambio climático aceptados por la Comunidad con arreglo al Protocolo de Kyoto. Por otra parte el análisis especificará los potenciales en relación con los horizontes de 2010, 2015 y 2020.

### **1.3. Alcance del estudio**

De acuerdo a lo anteriormente indicado, el ámbito del presente estudio se circunscribe a los siguientes ámbitos:

#### *Ámbito conceptual*

El estudio se refiere a los sistemas de cogeneración de alta eficiencia, incluyendo las microcogeneraciones de alta eficiencia.

#### *Ámbito geográfico*

Se incluye todo el territorio nacional tanto peninsular como insular.

---

<sup>2</sup> Se denomina calor útil a aquel producido en un proceso de cogeneración para satisfacer una demanda económicamente justificable de calor o refrigeración.

### *Ámbito sectorial*

El ámbito sectorial es pleno, de tal modo que abarca los sectores secundario, terciario y primario de la actividad económica. No obstante, en nuestro país el desarrollo de la cogeneración se ha centrado principalmente en el sector secundario.

En lo que se refiere al **sector secundario** el estudio abarca la industria en su totalidad, aunque únicamente se han considerado las áreas con potencial de utilización de cogeneraciones en base a la demanda de calor útil: consumidores de vapor, agua caliente, aceite térmico, gases calientes para secado y frío para refrigeración y proceso.

En cuanto al **sector terciario**, las actividades contempladas son las siguientes:

- Actividades domésticas y comerciales. En este apartado se entiende por cogeneraciones en el área doméstica a las correspondientes al calor y frío de distrito, del cual se detallan los resultados en un punto propio del capítulo de resultados; del mismo modo las actividades comerciales se refieren a hospitales, hoteles, centros comerciales, centros penitenciarios y otras actividades no incluidas en el área residencial doméstico
- Tratamiento de lodos de depuradoras de aguas residuales

Por último, en el **sector primario**, que actualmente cuenta con poca penetración, se dispone de un potencial de origen diverso. El estudio se ha centrado en las aplicaciones ya conocidas y con cierta implantación, las cuales son:

- Tratamiento de residuos de ganado porcino y vacuno, en el cual se engloban las actividades de tratamiento de purines de cerdo
- Procesado y eliminación de residuos de la industria del aceite vegetal, entendiendo como tal al alperujo generado en las fábricas de producción de aceites derivados de la aceituna

### *Ámbito tecnológico*

El estudio abarca todos los sistemas que se pueden catalogar como cogeneración, entendida esta como la generación simultánea en un proceso de energía térmica y eléctrica y/o mecánica. De este modo, y con carácter no limitativo, se incluyen los siguientes sistemas:

- Turbina de gas de ciclo combinado con recuperación de calor
- Turbina de vapor a contrapresión
- Turbina de vapor con extracción y condensación
- Turbina de gas con recuperación del calor
- Motor de combustión interna
- Microturbinas
- Motores Stirling
- Pilas de combustible
- Motores de vapor
- Ciclos Rankine con fluido orgánico

### *Ámbito temporal*

Este estudio aporta datos de potencial de cogeneración para los años 2010, 2015 y 2020, así como para la situación actual, entendida esta como el año 2004 por ser el último del cual se disponen datos completos de los sectores y actividades objeto del estudio. No obstante en datos donde así se indique se ofrecen cifras de años más recientes al 2004, como en el caso de la situación actual cuyas cifras corresponden al año 2006.

## 2. Situación actual de la cogeneración en España y en la Unión Europea

### 2.1. Antecedentes legislativos y situación normativa actual

La primera regulación normativa de las plantas de cogeneración se produjo en 1980 con la aprobación de la Ley 82/80 sobre Conservación de la Energía. Hasta entonces no existía regulación sobre la conexión de cogeneraciones a la red pública para verter sus excedentes de energía eléctrica. Con esta Ley se obliga a las compañías eléctricas a adquirir la energía vertida a la red por las plantas de cogeneración. A partir del año 1986 se comienza a verificar un desarrollo significativo de este tipo de plantas, en gran medida por la incipiente expansión de la red de gasoductos, el desarrollo tecnológico, y el fomento por parte de la Administración Pública.

Posteriormente, el Plan Energético Nacional del 1990, y más concretamente su Anexo 1, Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) fija objetivos de nuevas plantas de cogeneración para el periodo 1991 - 2000. En el marco de este Plan se publica la Ley de Ordenación del Sector Eléctrico (LOSEN) y el Real Decreto 2366/1994 sobre producción eléctrica en régimen especial, siendo ya catalogadas las cogeneraciones en un grupo diferenciado.

La situación actual de la cogeneración desde el punto de vista normativo se caracteriza por el marco fijado por la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico (LSE), la cual ha sido modificada posteriormente en varias ocasiones. La LSE incluye a las plantas de cogeneración en el denominado régimen especial siempre que su potencia no supere 50 MWe, regulando los siguientes aspectos:

- Necesidad de autorización administrativa previa de carácter reglado
- Derecho de los productores de incorporar su producción al sistema eléctrico
- Régimen retributivo de la energía eléctrica vertida a la red regulado, y complementado con la percepción de una prima

La LSE ha sido desarrollada en lo que se refiere al régimen especial por los ya derogados Real Decreto 2818/1998 y Real Decreto 436/2004, sustituido por el vigente Real Decreto 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Esta norma cataloga los sistemas de cogeneración en los siguientes grupos y subgrupos:

- Grupo a.1. Instalaciones que incluyan una central de cogeneración
  - Subgrupo a.1.1. Cogeneraciones que utilizan como combustible gas natural
  - Subgrupo a.1.2. Cogeneraciones que utilizan como combustible gasóleo, fuel oil o gases licuados de petróleo (GLP)
  - Subgrupo a.1.3. Cogeneraciones que utilizan como combustible biomasa y/o biogás

- Subgrupo a.1.4. Resto de cogeneraciones que incluyen como posibles comestibles a emplear gases residuales de refinería, coquería, combustible de proceso, carbón y otros no contemplados en los subgrupos anteriores
- Grupo a.2. Instalaciones que incluyan una central que utilice energías residuales procedentes de cualquier instalación, máquina o proceso industrial cuya finalidad no sea la producción de energía eléctrica y/o mecánica

El Real Decreto 661/2007 define un marco retributivo para la venta de excedentes de la energía eléctrica vertida a la red de las cogeneraciones basado en dos posibilidades de libre elección por el propietario:

- Cesión de la energía eléctrica a través de la red de transporte o distribución, percibiendo una tarifa regulada única para todos los periodos de programación
- Venta de la energía eléctrica libremente en el mercado, percibiendo el propietario de la cogeneración el precio que resulte del mercado organizado o el libremente negociado, complementado, en su caso, por una prima

También recientemente se ha publicado el Real Decreto Ley 7/2006 que modifica parcialmente el marco normativo de la LSE para cogeneraciones favoreciendo su libre operación en el mercado. Para ello incorpora las siguientes medidas:

- Se permite vender libremente la energía eléctrica producida
- Eliminación del concepto de autoproduccion
- Eliminación de los ‘costes de transición a la competencia’ (CTCs)
- Eliminación de obligación de autoconsumo térmico y eléctrico

El Real Decreto Ley 7/2006 al eliminar el concepto de autoproduccion y la necesidad de autoconsumo deja expedita la vía administrativa para el desarrollo de las empresas de suministro de servicios de energía (comúnmente denominadas ESCOs<sup>3</sup>), lo cual, al suponer una aplicación novedosa en nuestro país, puede ocasionar un incremento de las cifras de potencia instalada de forma significativa. Esta normativa supone la transposición, al menos en parte, de la Directiva 2004/8/CE relativa al fomento de la cogeneración.

## 2.2. Producciones y potencia instalada en España

A continuación se exponen los datos sobre producciones y potencia instalada en España referente a sistemas de cogeneración. Estos datos se han desglosado en las siguientes categorías:

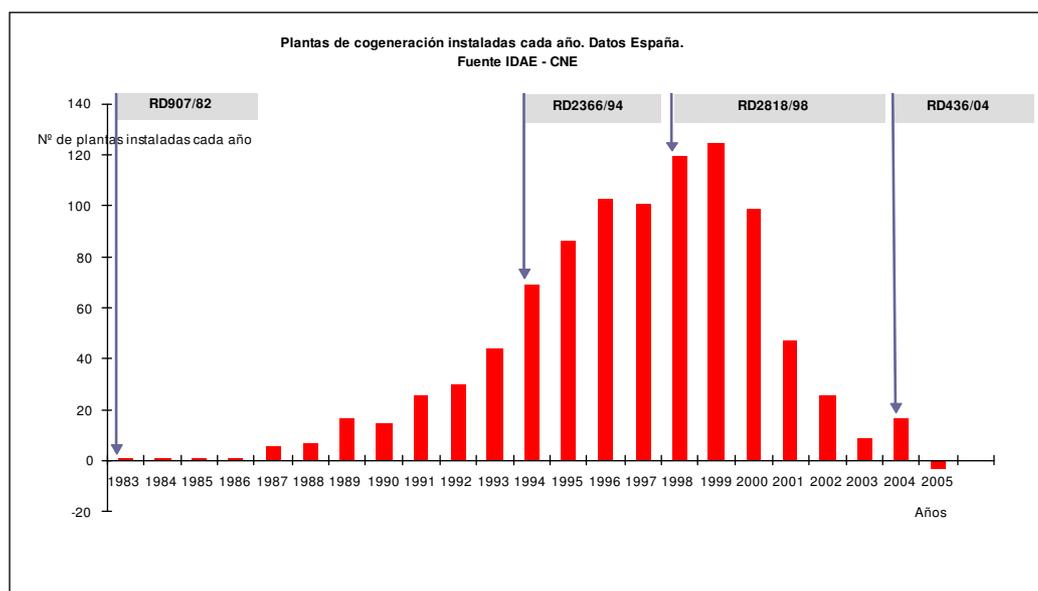
- Plantas consideradas de autoproducción
- Plantas de tratamiento y valorización de residuos

---

<sup>3</sup> Acrónimo de la expresión anglosajona ‘Energy Service Company’

### Plantas consideradas de autoproducción

En diciembre de 2006 en España se verifican **5.875 MWe** instalados en sistemas de cogeneración considerados para autoproducción repartidos en 860 plantas<sup>4</sup>. La evolución histórica se representa gráficamente en la **figura 1** adjunta, en la cual se aprecia cómo el número de plantas de cogeneración instaladas anualmente en España ha ido creciendo a partir del año 1987 con un máximo de nuevas instalaciones en el año 1999. Posteriormente esta tendencia ha ido a la baja, no existiendo una actividad significativa de nuevas plantas en los años más recientes.



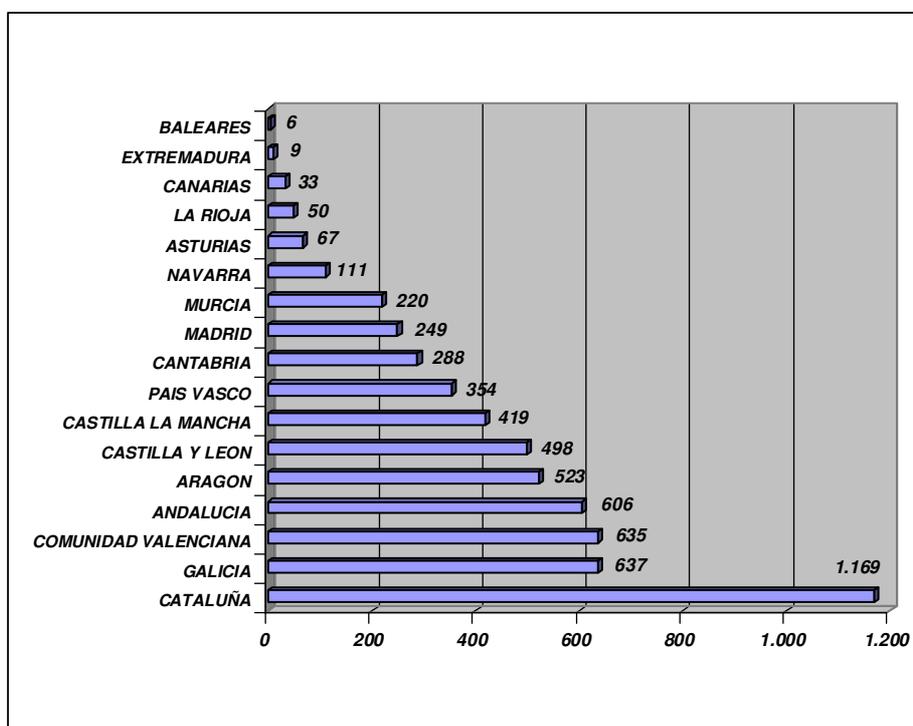
**Figura 1. Plantas de cogeneración consideradas de autoproducción instaladas anualmente**

Desde el punto de vista geográfico, la potencia instalada se reparte según se indica en la **tabla 1** y **figura 2**. Es representativa la gran concentración de cogeneraciones en la zona de Cataluña (1.169 MWe), siendo igualmente significativos los datos de la Comunidad Valenciana y Galicia con 635 MWe y 637 MWe respectivamente. Del mismo modo en la **figura 3** se indica la potencia instalada acumulada de las citadas cogeneraciones.

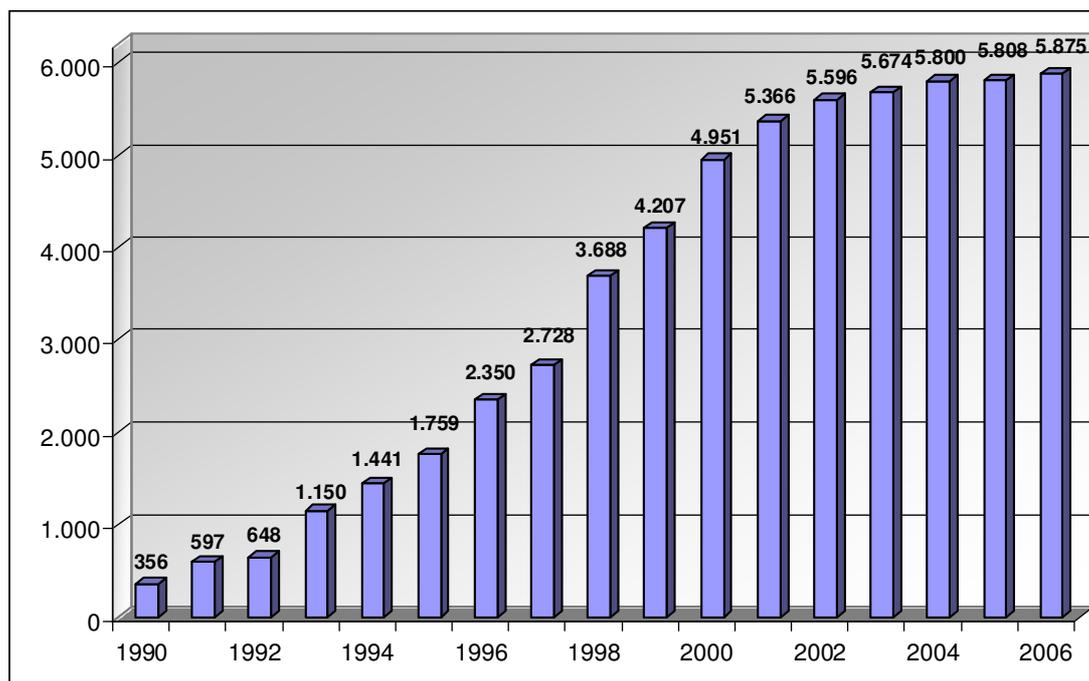
<sup>4</sup> Datos de la CNE a diciembre de 2006. Se han considerado la categorías de los grupos ‘a’ y ‘d’ del régimen especial para ilustrar este apartado ya que no se dispone del histórico de otros subsectores incluidos en el estudio. Sin embargo, los datos representativos son ilustrativos de lo expuesto en este apartado.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	POTENCIA (MWe)
ANDALUCIA	606
ARAGON	523
ASTURIAS	67
BALEARES	6
CANARIAS	33
CANTABRIA	288
CASTILLA LA MANCHA	419
CASTILLA Y LEON	498
CATALUÑA	1169
COMUNIDAD VALENCIANA	635
EXTREMADURA	9
GALICIA	637
LA RIOJA	50
MADRID	249
MURCIA	220
NAVARRA	111
PAIS VASCO	354
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>5.875</b>

**Tabla 1. Potencia instalada de cogeneraciones consideradas de autoproducción por Comunidades Autónomas a diciembre de 2006. Fuente: CNE**



**Figura 2. Potencia instalada de cogeneraciones consideradas de autoproducción por Comunidades Autónomas a diciembre de 2006. Fuente: CNE**

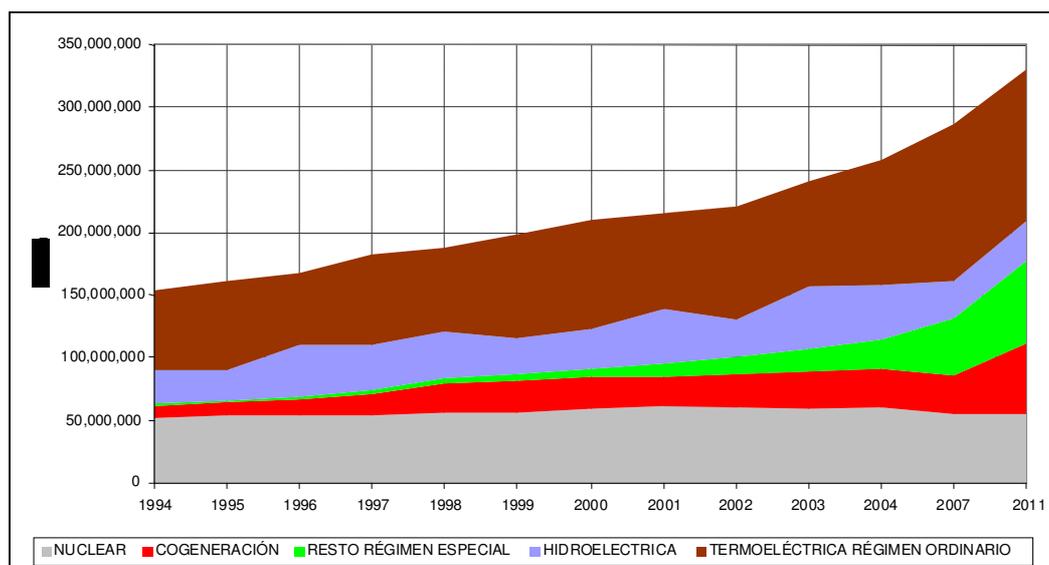


**Figura 3. Potencia instalada acumulada de cogeneraciones consideradas de autoproducción. Fuente: CNE**

Los sectores de actividad con mayor participación en términos de potencia instalada en cogeneración consisten en alimentación, química y papel y cartón, suponiendo aproximadamente la mitad del total a nivel nacional.

En lo que se refiere a energía eléctrica producida por sistemas de cogeneración de autoproducción, la aportación al sistema eléctrico en el año 2005<sup>5</sup> fue del 11.4% de la demanda eléctrica de España, con una contribución en torno a 31.400 GWh. En la **figura 4** se muestra gráficamente el origen de energía eléctrica producida a partir de 1994, y su proyección hasta el 2011 según la Planificación de Infraestructuras 2005 - 2011 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

<sup>5</sup> Datos procedentes de documentos estadísticos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.



**Figura 4. Producción neta de electricidad según tipo de planta. Elaboración a partir del Balance Eléctrico 2004 y Planificación de Infraestructuras 2005-2011 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**

En lo que se refiere a rendimiento, el parque existente de cogeneración posee una eficiencia eléctrica del 29,7% y aprovecha el 73,2% de la energía contenida en el combustible utilizado. El rendimiento eléctrico equivalente (REE) es del 57,6% y las horas medias anuales de utilización<sup>6</sup> suponen 6.113 para el sector industrial y 4.242 para el sector servicios. Como cómputo medio de todos los sectores las horas de utilización asciende a 5.485. Estos rendimientos son significativamente superiores a los de los sistemas convencionales de producción de energía eléctrica.

#### **Plantas de tratamiento de residuos**

En lo que respecta a los sistemas de cogeneración utilizados para el tratamiento de purines de explotaciones de porcino y tratamiento de lodos (epígrafes 'd1' y 'd2' del régimen especial regulado en el RD 436/2004), a diciembre de 2006 figuraban inscritos 592 MWe instalados<sup>7</sup>, con el desglose y distribución geográfica indicada en la tabla 2.

<sup>6</sup> Horas de utilización calculadas a partir de la *Estadística Mensual de Energía Eléctrica del Ministerio de Industria del año 2000*.

<sup>7</sup> Datos de la CNE a diciembre de 2006.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Tratamiento de residuos de porcino	Tratamiento de lodos
ANDALUCÍA	15	131
ARAGON	43	-
ASTURIAS	-	6
BALEARES	-	-
CANARIAS	-	-
CANTABRIA	-	-
CASTILLA Y LEON	78	32
CASTILLA LA MANCHA	-	-
CATALUÑA	74	70
COMUNIDAD VALENCIANA	1	1
EXTREMADURA	-	4
GALICIA	-	-
MADRID	-	42
MURCIA	45	25
NAVARRA	15	-
PAIS VASCO	-	10
LA RIOJA	-	-
<b>TOTAL ESPAÑA</b>	<b>271</b>	<b>321</b>

**Tabla 2. Potencia instalada (MWe) de cogeneraciones inscritas como tratamiento de residuos por Comunidades Autónomas año 2006. Fuente: CNE**

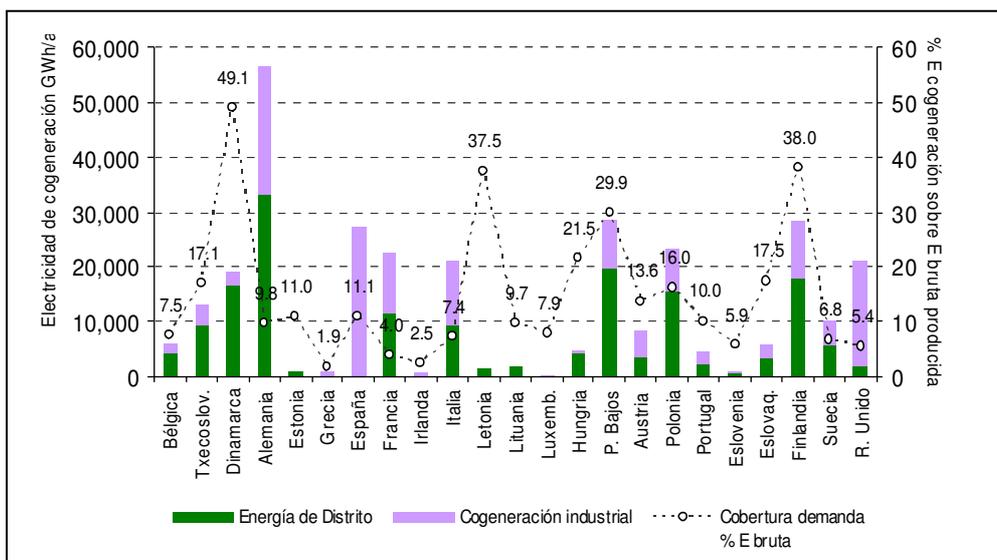
### 2.3. Situación en la Unión Europea

La cogeneración tiene una larga tradición en Europa que abarca tanto la de tipo industrial como la referente a aplicaciones conocidas como *district heating* o energía de distrito, enfocadas al mercado de calor útil doméstico y comercial.

El grado de penetración de la cogeneración en los distintos países es muy diverso. Su aportación respecto al total de energía producida alcanza cifras elevadas en países como Dinamarca (49%), Finlandia (38%), Holanda (30%), pero también en países de economías en transición como Letonia (38%), Hungría (21%) y República Checa (17%).

En la **Figura 5** se indica para distintos países de la Unión Europea la energía eléctrica generada por sistemas de cogeneración, así como la cobertura satisfecha respecto la demanda energética total del país correspondiente. Respecto la energía eléctrica, esta se haya desagregada en dos conceptos: la aportada por agentes en forma de ESCOs (energía de distrito), y la generada por autoproductores.

Es destacable la gran implantación de sistemas de 'energía de distrito' en la Unión Europea, metodología que aún no ha sido implantada en España de forma significativa. No obstante, como se comentado anteriormente, la modificación de la Ley del Sector Eléctrico que introduce el Real Decreto Ley 7/2006 establece el marco administrativo apropiado para un desarrollo favorable de ESCOs en nuestro país.



**Figura 5. Electricidad de cogeneración y cobertura respecto a la electricidad bruta producida según países. Elaboración a partir de datos de EUROSTAT 2002**

### **3. Potencial de calor útil**

---

#### **3.1. El calor útil en la estimación del potencial de cogeneración. Criterios de cálculo**

##### ***Metodología de cálculo***

La Directiva 2004/8/CE regula el fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil. En su artículo 3, la Directiva define el calor útil como *calor producido en un proceso de cogeneración para satisfacer una demanda económicamente justificable de calor o refrigeración*, por lo que el potencial de cogeneración ha de estar basado en el calor de tipo útil que se demande en un proceso.

La metodología que se ha seguido para la determinación del calor útil en los sectores y actividades objeto de este estudio es la siguiente:

- a. Para cada sector y actividad se ha partido del consumo de combustible, en base al cual se ha determinado el **calor de proceso** demandado, caracterizado por los siguientes datos:
  - Cantidad de energía térmica demandada
  - Características de la energía térmica demandada: vapor, aire caliente, producción de frío, etc
  - Programa de trabajo. En base a la experiencia de funcionamiento de las instalaciones se ha definido el programa de trabajo tanto mensual como semanal y diario para determinar la curva de demanda de energía térmica a lo largo de un año
- b. Una vez determinado el calor de proceso, se ha estimado el **calor cogenerable**, teniendo en cuenta que no todas las demandas de calor pueden ser atendidas por un sistema de cogeneración. Los procesos de cocción a alta temperatura, procesos térmicos que exigen una regulación y control de la temperatura muy precisos, procesos térmicos con demandas de calor por encima de los 450 °C o por debajo de los 7 °C normalmente no pueden ser satisfechos por sistemas de cogeneración. La estimación se ha realizado en base al conocimiento de los procesos o demandas térmicas según el tipo de usuario. En el caso de la industria, este calor está ligado al proceso productivo; en el caso del sector edificios - doméstico y comercial - todo el calor es cogenerable; en el caso de cogeneraciones para procesos de tratamiento de residuos todo el calor también se ha considerado potencialmente cogenerable
- c. Por último, simplemente se ha tenido en cuenta que el **calor cogenerable**, tal y como se define en el párrafo anterior, constituye el **potencial de calor útil**

##### ***Criterios de proyección temporal***

La *Directiva 2004/8/CE* indica que el estudio de potencial de cogeneración de alta eficiencia debe contemplar los *horizontes 2010, 2015 y 2020*. La evolución del potencial de calor útil hasta alcanzar el horizonte del año 2020 depende de numerosos factores, entre

ellos, precios de materias primas, disponibilidad energética y situación tanto macroeconómica como microeconómica. Para la elaboración de este estudio se han considerado las previsiones del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) reflejadas en el documento *Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2002 - 2011, revisión 2005 - 2011*. Es este documento se refleja una previsión de incremento de la demanda de energía eléctrica del 3,46% como media anual hasta el 2011. De cara a disponer de previsiones de crecimiento sectorial para todo el periodo considerado en este estudio, el cual llega hasta el 2020, se han completado las disponibles mediante extrapolaciones con los siguientes criterios según sectores y actividades:

- a. **Industria.** Para el periodo 2004 - 2011 se ha considerado el indicado en la Planificación del MITyC, el cual supone un crecimiento anual medio de 2,1%. Para el periodo 2012 - 2020 se ha considerado un crecimiento medio anual del 1,8%. Se asume que el crecimiento de consumo de combustible es satisfecho en su totalidad mediante gas natural
- b. **Refino de petróleo.** En el periodo 2004 - 2010 se ha considerado un incremento anual medio del 1,91% atendiendo a las previsiones de las empresas españolas del sector de refino de petróleo. Esto supone aumentar los barriles de petróleo procesados desde los 1.290 millones diarios hasta los 1.438 millones diarios. Para el periodo 2011 - 2020 se considera un incremento medio anual del 1,8%
- c. **Bioetanol.** Para el periodo 2004 - 2010 se ha considerado los objetivos del Plan de Energías Renovables 2005 - 2010, que establece para 2010 una capacidad en plantas de bioetanol de 2,2 Mtep
- d. **Sector terciario doméstico y comercial.** El crecimiento de demanda de calor útil en este área es proporcional al aumento previsto de consumo de gas natural en el periodo 2005-2011 (6,5% de media anual). Para el periodo 2012-2020 se supone un crecimiento del 4,5%. Por otra parte en los edificios de nueva construcción se ha considerado un aumento de la eficiencia en el consumo que permite un ahorro del 20%<sup>8</sup> en la demanda respecto de la resultante en inmuebles actuales
- e. **Tratamiento y valorización de residuos.** En este caso se ha considerado que la demanda térmica se incrementará de acuerdo con el crecimiento de la población (1% anual en media hasta 2020); para tratamiento de residuos de porcino un incremento del grado de penetración de las granjas existentes según previsiones de los propietarios; para el ganado vacuno un incremento del 2,7% anual en media y para el sector de la producción de aceite un crecimiento anual nulo por las directrices de la Unión Europea de no incrementar las plantaciones de olivo en España

### ***Desagregación por sectores y actividades***

La definición de calor útil, ya descrita anteriormente, establece que dicho calor es el que se abastece de un proceso de cogeneración para satisfacer una demanda económicamente

---

<sup>8</sup> En la confección de este valor se han considerado los ahorros estimados por aplicación de las exigencias del Código Técnico de la Edificación a excepción de la contribución solar para agua caliente sanitaria, por estar contemplado su sustitución por cogeneración.

justificable de calor o refrigeración. De acuerdo con esto, en la presentación de los datos de este estudio se ha optado por desagregar los mismos en dos grupos en función de la naturaleza del calor o frío suministrado por la cogeneración:

- Por un lado actividades en las cuales la cogeneración efectivamente aporta calor útil, es decir, en base a una demanda económicamente justificable. Estas actividades se han etiquetado en este estudio con el nombre **‘sistemas de cogeneración que aportan calor útil’**, y generalmente se encuentran en el sector secundario y suministro de calor en los sectores doméstico y comercial del sector terciario
- Por otro lado, actividades que de acuerdo al caso concreto es necesario realizar un análisis particular para identificar si el sistema de cogeneración aporta calor útil. Se han incluido en este apartado fundamentalmente las cogeneraciones de tratamiento de residuos en los sectores primario y terciario: tratamiento de lodos de EDAR, tratamiento de residuos de porcino, tratamiento de residuos de almazara y cogeneraciones que utilizan como combustible biogás en plantas de tratamiento de lodos de EDAR y granjas de vacuno. En el estudio estas cogeneraciones se han etiquetado como **‘sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos’**.

Este último criterio se ha mantenido a lo largo de todo el estudio incluso hasta la determinación de la evolución previsible de la potencia instalada en cogeneración y de la electricidad de cogeneración de alta eficiencia asociada.

### 3.2. Situación actual y previsiones

La situación actual de potencial de calor útil y la previsión de demanda hasta el 2020 se reflejan en la **tabla 3**. En dicha tabla se observa que el mercado más cuantioso es el secundario (industria, bioetanol y refino de petróleo), el cual representa casi el 70% del total de potencial de calor útil. Destacan actividades como el papel y cartón, industria química e industria de la alimentación. Por otra parte el sector terciario, en sus actividades domésticas y comerciales, representa el 30% del potencial total. El número actual de potencial de calor útil asciende a 145.889 GWh anuales, estableciendo como previsión para el 2020 la cifra de 204.973 GWh al año. Esto supone un incremento del 40% en todo el periodo (2004 - 2020), con un incremento anual medio del 2,1%.

ACTIVIDAD	Año 2004	Previsión 2010	Previsión 2015	Previsión 2020
<b>SECTOR SECUNDARIO</b>				
SECTOR INDUSTRIAL				
Papel y cartón	14.351	16.159	17.494	19.407
Textil	6.687	7.530	8.151	8.201
Química	28.970	32.620	35.314	35.170
Alimentación	15.305	17.233	18.657	23.056
Minerales no metálicos	9.804	11.039	11.951	10.335
Resto industria	13.991	15.754	17.055	22.857
BIOETANOL	870	3.498	3.655	3.820
REFINO DE PETRÓLEO	11.280	12.573	13.716	14.621
<b>TOTAL SECTOR SECUNDARIO</b>	<b>101.258</b>	<b>116.406</b>	<b>125.993</b>	<b>137.467</b>
<b>SECTOR TERCIARIO: RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>				
Actividades domésticas	34.321	42.936	50.504	51.912
Actividades comerciales	10.310	12.898	15.171	15.594
<b>TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>	<b>44.631</b>	<b>55.834</b>	<b>65.675</b>	<b>67.506</b>
<b>TOTAL</b>	<b>145.889</b>	<b>172.240</b>	<b>191.668</b>	<b>204.973</b>

*Tabla 3. Potencial de calor útil en GWh anuales para sistemas de cogeneración*

En lo que se refiere a las actividades de tratamiento y valorización de residuos, las cifras de posible calor útil se indican en la **tabla 4**. Es relevante el potencial en la actividad de tratamiento de residuos de porcino (5.616 GWh en el año 2004 y un potencial esperado para el año 2020 de 7.956 GWh), así como el potencial del biogás procedente de la digestión de residuos de vacuno (5.870 GWh en el año 2004 y un potencial esperado para el 2020 de 8.247 GWh). De forma conjunta las actividades de tratamiento de residuos presentan un crecimiento medio anual de potencial de calor útil hasta el año 2020 del 1,5%.

ACTIVIDAD	Año 2004	Previsión 2010	Previsión 2015	Previsión 2020
Tratamiento de residuos de porcino	5.616	6.526	7.284	7.956
Tratamiento de lodos de EDAR	3.320	3.519	3.685	3.818
Tratamiento de residuos de almazara	3.011	3.011	3.011	3.011
Biogás de lodos de EDAR	2.264	2.400	2.513	2.604
Biogás de residuos de vacuno	5.870	6.821	7.613	8.247
<b>TOTAL</b>	<b>20.081</b>	<b>22.277</b>	<b>24.106</b>	<b>25.636</b>

*Tabla 4. Posible potencial de calor útil en GWh anuales para sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos*

## 4. Potencial tecnológico

---

### 4.1. Metodología y determinación

Una vez realizada la estimación del potencial de calor útil descrita en el capítulo anterior es posible el diseño de los sistemas de cogeneración de alta eficiencia más adecuados para cubrir esa demanda, lo cual supone una traducción del potencial de calor útil en GWh a potencia instalable en MW eléctricos. Este cálculo se ha realizado considerando los criterios a continuación descritos.

#### a. Tecnologías disponibles

El cálculo de la potencia instalable se ha realizado tomando en consideración las distintas tecnologías disponibles, caracterizadas por su rendimiento eléctrico. En la **tabla 5** se indican los rendimientos que se han asimilado para las tecnologías más empleadas en sistemas de cogeneración.

Sistema de cogeneración	Rendimiento eléctrico
Motor de combustión	40%
Turbina de gas en ciclo simple	33%
Ciclo combinado	40%
Turbina de vapor	20%

**Tabla 5. Rendimiento eléctrico de las tecnologías de sistemas de cogeneración más utilizadas**

#### b. Tecnologías empleadas a nivel sectorial

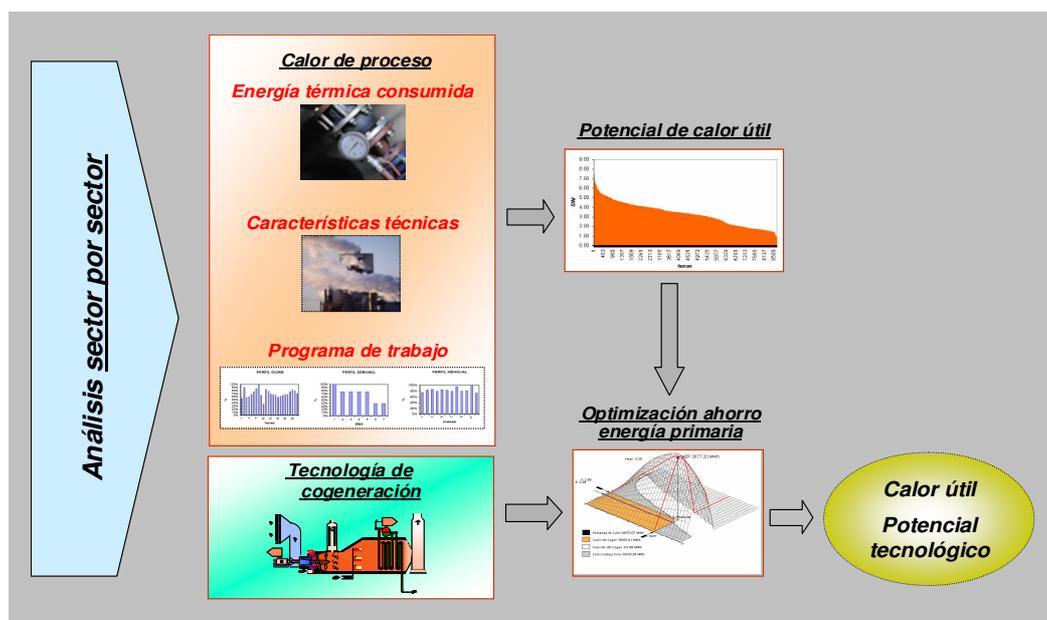
El cálculo del potencial tecnológico ha sido particular a cada sector de aplicación. De este modo, se ha obtenido en primer lugar la participación de cada tecnología en los distintos sectores considerando la potencia instalada, para a continuación ponderar la potencia instalable con la participación de cada tecnología. De este modo se obtiene una caracterización tecnológica por cada sector representada por el rendimiento eléctrico para cada uno de ellos.

#### c. Criterio de alta eficiencia

De acuerdo con la Directiva 2004/8/CE, el estudio ha de realizarse sobre la base de sistemas de cogeneración de **alta eficiencia**, cuyo concepto, como se ha comentado anteriormente, se basa en el ahorro de al menos un 10% de energía primaria respecto a la situación de referencia. Lo anterior introduce una condición que establece un grado de libertad para el cálculo del potencial tecnológico, en el sentido de considerar diferentes horas equivalentes de funcionamiento de los sistemas de cogeneración. De cara a la realización de este estudio se ha seguido el siguiente método de cálculo:

- En primer lugar se ha realizado para cada sector el cálculo del ahorro de energía primaria<sup>9</sup> que aportan los sistemas de cogeneración en función de la potencia total a instalar y del número de horas de funcionamiento medio de todas las cogeneraciones
- A continuación se ha elegido el potencial de cogeneración y horas de funcionamiento que logra el **máximo ahorro de energía primaria**. Este criterio es consistente con la orientación establecida por la Directiva 2004/8/CE, la cual prima el ahorro de energía primaria, y del mismo modo permite cuantificar el potencial con una base de máximo ahorro económico por lo cual se puede considerar como práctica desde el punto de vista del industrial o titular que realiza la inversión
- Por último, en este estudio se ha realizado la vigilancia para cada sector consistente en que el ahorro de energía primaria supere el 10%, ya que de lo contrario no podría ser considerado el sistema de cogeneración como de alta eficiencia

En la **figura 6** se ilustra gráficamente el proceso metodológico descrito en este capítulo y también en el anterior para el cálculo del potencial de calor útil y potencial tecnológico.



**Figura 6. Proceso de cálculo del potencial de calor útil y potencial tecnológico**

Considerando la metodología explicada a continuación se detallan los resultados de calor útil y potencial tecnológico.

<sup>9</sup> El cálculo del ahorro de energía primaria se ha realizado según la fórmula del Anexo III de la Directiva 2004/8/CE empleando como valores de referencia los siguientes:

- Rendimiento en la producción de electricidad: 52,5% al cual se ha descontado pérdidas en el nivel de conexión 1-36 kV (5,93%), es decir, 49,6%
- Rendimiento en la producción de calor: 90%

### Sistemas de cogeneración que aportan calor útil

El potencial tecnológico de cogeneración de alta eficiencia obtenido se indica en la **tabla 6** para el año 2004, y en la **tabla 7** para las previsiones de los años 2010, 2015 y 2020. Se detalla para cada sector y actividad el potencial tecnológico en MW eléctricos, el ahorro de energía primaria logrado, el calor útil que se satisface con dicho potencial tecnológico, la energía eléctrica generada y las horas medias de utilización de la cogeneración.

En los datos expuestos es destacable la existencia de potencial tecnológico en la situación actual de 17.237 MW eléctricos, repartidos en el sector secundario y terciario en una proporción de 62% y 38% respectivamente, siendo su presencia en el sector terciario, aunque minoritaria, significativa con la existencia de un potencial de 6.414 MW eléctricos. En el sector industrial las actividades de mayor potencial son el papel y cartón y las industrias de la alimentación. El ahorro de energía primaria oscila entre el 13% y el 23% dependiendo de la actividad. Respecto a las previsiones, para el año 2020 se espera un incremento del potencial tecnológico del 38% en el sector secundario y del 51% en las actividades residenciales y comerciales respecto al año 2004, lo cual supone una previsión de potencial tecnológico de alta eficiencia total de 24.606 MW eléctricos.

ACTIVIDAD	Potencial tecnológico (MW)	Ahorro de energía primaria (%)	Calor útil (GWh anuales)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Horas de utilización
<b>SECTOR SECUNDARIO</b>					
<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>					
Papel y cartón	1.270	15%	13.814	10.674	8.404
Textil	898	15%	4.910	4.311	4.800
Química	2.255	13%	18.843	14.132	6.260
Alimentación	1.427	13%	10.345	8.375	5.870
Minerales no metálicos	1.185	16%	7.786	7.202	6.080
Resto industria	2.270	17%	10.829	10.552	4.648
BIOETANOL	88	23%	798	709	8.095
REFINO DE PETRÓLEO	1.430	21%	10.870	12.014	8.402
<b>TOTAL SECTOR SECUNDARIO</b>	<b>10.823</b>	<b>-</b>	<b>78.195</b>	<b>67.969</b>	<b>6.280</b>
<b>SECTOR TERCIARIO: RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>					
Actividades domésticas	5.220	16%	15.266	19.842	3.801
Actividades comerciales	1.194	16%	4.450	5.086	4.258
<b>TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>	<b>6.414</b>	<b>-</b>	<b>19.716</b>	<b>24.928</b>	<b>3.886</b>
<b>TOTAL</b>	<b>17.237</b>	<b>-</b>	<b>97.911</b>	<b>92.897</b>	<b>5.389</b>

*Tabla 6. Potencial tecnológico en el año 2004 para sistemas de cogeneración que aportan calor útil*

ACTIVIDAD	Año 2010			Año 2015			Año 2020		
	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)
<b>SECTOR SECUNDARIO</b>									
<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>									
Papel y cartón	15.555	12.019	1.430	16.839	13.012	1.548	18.681	14.435	1.718
Textil	5.529	4.854	1.011	5.985	5.255	1.095	6.022	5.287	1.101
Química	21.217	15.913	2.539	22.969	17.227	2.749	22.875	17.156	2.738
Alimentación	11.648	9.430	1.607	12.611	10.209	1.740	15.584	12.616	2.150
Minerales no metálicos	8.767	8.110	1.334	9.491	8.779	1.444	8.208	7.592	1.249
Resto industria	12.194	11.881	2.556	13.201	12.862	2.767	17.692	17.238	3.709
BIOETANOL	3.209	2.853	352	3.353	2.981	368	3.504	3.115	385
REFINO DE PETRÓLEO	12.116	13.391	1.594	13.218	14.609	1.739	14.090	15.573	1.853
<b>TOTAL SECTOR SECUNDARIO</b>	<b>90.235</b>	<b>78.451</b>	<b>12.423</b>	<b>97.667</b>	<b>84.934</b>	<b>13.450</b>	<b>106.656</b>	<b>93.012</b>	<b>14.903</b>
<b>SECTOR TERCIARIO: RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>									
Actividades domésticas	21.720	24.823	6.531	25.548	29.198	7.682	26.261	30.012	7.896
Actividades comerciales	5.567	6.362	1.494	6.548	7.484	1.758	6.731	7.692	1.807
<b>TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>	<b>27.287</b>	<b>31.185</b>	<b>8.025</b>	<b>32.096</b>	<b>36.682</b>	<b>9.440</b>	<b>32.992</b>	<b>37.704</b>	<b>9.703</b>
<b>TOTAL</b>	<b>117.522</b>	<b>109.636</b>	<b>20.448</b>	<b>129.763</b>	<b>121.616</b>	<b>22.890</b>	<b>139.648</b>	<b>130.716</b>	<b>24.606</b>

*Tabla 7. Potencial tecnológico previsto, años 2010, 2015, 2020 para sistemas de cogeneración que aportan calor útil*

### **Sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos**

En lo que se refiere a cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos, en las **tablas 8 y 9** se detallan los datos del año 2004 y previsiones para los años 2010, 2015 y 2020. Es de destacar el significativo posible potencial en la utilización del biogás procedente de residuos de vacuno con 792 MWe en la actualidad y una previsión para el 2020 de 1.112 MWe.

Es importante señalar que las cantidades indicadas de potencial de calor útil y potencial tecnológico en el caso de tratamiento y valorización de residuos se hallan condicionadas a que los sistemas de cogeneración aporten efectivamente calor útil, ya que de lo contrario no podrían ser consideradas y computadas como potencial. Debido a que esta circunstancia depende de las características técnicas, económicas y empresariales de cada planta, en este estudio se ha optado por aportar una contabilización conjunta denominada ‘posible calor útil’ y ‘posible potencial tecnológico’<sup>10</sup>.

El ahorro de energía primaria oscila entre el 10% y el 12% dependiendo de la actividad. Respecto a las previsiones, para el año 2020 se espera un incremento del potencial tecnológico del 29% respecto al año 2004, lo cual supone una previsión de potencial tecnológico de alta eficiencia para estas actividades de 2.685 MW eléctricos.

ACTIVIDAD	Potencial tecnológico (MW)	Ahorro de energía primaria (%)	Calor útil (GWh anuales)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Horas de utilización
Tratamiento de residuos de porcino	498	10%	4.846	3.231	6.488
Tratamiento de lodos de EDAR	199	12%	1.826	1.336	6.728
Tratamiento de residuos de almazara	301	10%	2.806	1.871	6.224
Biogás de lodos de EDAR	294	-	2.264	1.981	6.728
Biogás de residuos de vacuno	792	-	5.870	5.136	6.488
<b>TOTAL</b>	<b>2.084</b>	<b>-</b>	<b>17.612</b>	<b>13.555</b>	<b>6.504</b>

**Tabla 8. Posible potencial tecnológico en el año 2004 para sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos**

<sup>10</sup> La situación respecto a la inclusión o no del potencial es particular para cada actividad. En el caso de plantas de tratamiento de purines dependerá de si el canon de vertido a pagar por el ganadero es suficiente para justificar económicamente un sistema de cogeneración de acuerdo al marco retributivo de este tipo de plantas. En el caso del biogás el calor del sistema de cogeneración ha de ser utilizado para satisfacer una demanda térmica económicamente justificable.

ACTIVIDAD	Año 2010			Año 2015			Año 2020		
	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh)	Electricidad de cogeneración (GWh)	Potencial tecnológico (MWe)
Tratamiento de residuos de porcino	5.631	3.754	579	6.285	4.190	646	6.865	4.577	705
Tratamiento de lodos de EDAR	2.101	1.416	210	2.200	1.483	220	2.279	1.536	228
Tratamiento de residuos de almazara	2.806	1.871	301	2.806	1.871	301	2.806	1.871	301
Biogás de lodos de EDAR	2.400	2.100	312	2.513	2.199	327	2.604	2.278	339
Biogás de residuos de vacuno	6.821	5.968	920	7.613	6.662	1.027	8.247	7.216	1.112
<b>TOTAL</b>	<b>19.759</b>	<b>15.109</b>	<b>2.322</b>	<b>21.417</b>	<b>16.405</b>	<b>2.521</b>	<b>22.801</b>	<b>17.478</b>	<b>2.685</b>

*Tabla 9. Posible potencial tecnológico previsto para sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos*

## 4.2. Grado actual de penetración

Actualmente España cuenta con un parque de sistemas de cogeneración amplio en aplicaciones, si bien éstas se concentran fundamentalmente en el sector industrial y de refino, aunque con referencias en todos los sectores estudiados. En la **tabla 10** se detalla a nivel sectorial el grado de penetración de la cogeneración, así como el potencial disponible en el año 2004.

ACTIVIDAD	Potencial tecnológico (MWe)	Potencia instalada (MWe)	Grado penetración (%)	Grado disponibilidad (%)
<b>SECTOR SECUNDARIO</b>				
<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>				
Papel y cartón	1.270	877	69,1%	30,9%
Textil	898	412	45,9%	54,1%
Química	2.255	948	42,0%	58,0%
Alimentación	1.427	1.057	74,1%	25,9%
Minerales no metálicos	1.185	536	45,2%	54,8%
Resto industria	2.270	1.168	51,5%	48,5%
BIOETANOL	88	50	56,8%	43,2%
REFINO DE PETRÓLEO	1.430	577	40,3%	59,7%
<b>TOTAL SECTOR SECUNDARIO</b>	<b>10.823</b>	<b>5.625</b>	<b>52,0%</b>	<b>48,0%</b>
<b>SECTOR TERCIARIO: RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>				
Actividades domésticas	5.220	0	0,0%	100,0%
Actividades comerciales	1.194	175	14,7%	85,3%
<b>TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>	<b>6.414</b>	<b>175</b>	<b>2,7%</b>	<b>97,3%</b>
<b>TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>				
Tratamiento de residuos de porcino	498	233	46,8%	53,2%
Tratamiento de lodos de EDAR	199	82	41,2%	58,8%
Tratamiento de residuos de almazara	301	97	32,2%	67,8%
Biogás de lodos de EDAR	294	0	0,0%	100,0%
Biogás de residuos de vacuno	792	0	0,0%	100,0%
<b>TOTAL TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>	<b>2.084</b>	<b>412</b>	<b>19,8%</b>	<b>80,2%</b>

**Tabla 10. Grado de penetración y disponibilidad situación actual en el año 2004**

Es destacable el todavía significativo grado de disponibilidad de sectores industriales como el químico, minerales no metálicos y refino de petróleo; por otra parte se observa la nula presencia de sistemas de cogeneración en actividades domésticas, y una baja presencia en actividades comerciales, con un potencial muy significativo en ambas. El grado de disponibilidad asciende a un 48% para el caso del sector secundario, un 97,3% en el caso de actividades domésticas y comerciales, y a un 80% en el caso de cogeneraciones de tratamiento de residuos. Lo anterior se traduce en un potencial no explotado de unos 5.195 MWe en el sector secundario, 6.240 MWe en actividades domésticas y comerciales, y por último 1.671 MWe en tratamiento y valorización de residuos.

## 5. Escenarios de evolución

---

### 5.1. Metodología

En el presente estudio se han estimado escenarios razonables de evolución temporal para los sistemas de cogeneración instalados, escenarios que están limitados de forma superior por el potencial tecnológico reflejado en el capítulo 4, y de forma inferior por el grado de penetración en el momento actual.

Los escenarios que se han utilizado para determinar el potencial de cogeneración de alta eficiencia tienen su origen en el grado de saturación actual de cada actividad contemplada. A partir de este punto, se han planteado los dos escenarios siguientes:

- a. *Escenario de crecimiento vegetativo.* Supone mantener el grado de saturación actual hasta el 2020, lo cual implica un cierto crecimiento de la cogeneración debido al crecimiento en la demanda de las actividades correspondientes. Como se ha indicado en capítulos anteriores, en general la previsión de la demanda de calor útil posee un crecimiento moderado, lo cual se refleja en los sistemas de cogeneración instalados. La única excepción en este escenario consiste en la previsión de plantas de tratamiento de purines de cerdo, cuya cifra prevista corresponde a 322 MWe instalados a alcanzar en el año 2008
- b. *Escenario optimista con políticas de impulso.* Este escenario supone un aumento de los grados de saturación sectoriales y se ha proyectado teniendo en cuenta los objetivos de la Directiva 2004/8/CE que pretende aumentar la penetración de los sistemas de cogeneración. Este escenario se basa en conseguir los siguientes objetivos para la actividad industrial, residencial y comercial:
  - Alcanzar una saturación del 63% del potencial en la industria, 70% en el sector refino de petróleo y 78% de producción de bioetanol
  - Conseguir elevar la penetración en el sector terciario doméstico-comercial hasta el 3% en actividades domésticas y hasta el 20% en hospitales, oficinas, hoteles, centros comerciales y edificios oficiales

En el caso de cogeneraciones para tratamiento y valorización de residuos este escenario se basa en los siguientes objetivos:

- Incrementar un 5% la penetración en las aplicaciones de tratamiento de lodos de EDAR
- Alcanzar una potencia total instalada de 322 MWe en plantas de tratamiento de purines de cerdo
- Lograr una potencia instalada del orden de 300 MW en plantas de tratamiento de residuos de almazara en el año 2010
- Aprovechamiento de la totalidad del biogás de digestión, ya que este último es un recurso renovable autóctono

Este escenario igualmente se inspira en el objetivo indicativo europeo que establece una participación del 18% de la electricidad producida mediante cogeneración en 2010 en la demanda eléctrica<sup>11</sup>.

En la **tabla 11** se refleja el grado de penetración previsto en el año 2020 para cada actividad en cada uno de los escenarios tendenciales de acuerdo con los criterios anteriormente enunciados. Es destacable el aumento previsto en refino de petróleo, actividades domésticas y tratamiento y valorización de residuos en el escenario que supone un aumento de los grados de saturación.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Escenario crecimiento vegetativo</b>	<b>Escenario optimista con políticas de impulso</b>
<b>SECTOR SECUNDARIO</b>		
Industria	53,7%	63,6%
Producción de bioetanol	56,8%	78,0%
Refino de petróleo	40,3%	70,0%
<b>TOTAL SECUNDARIO</b>	<b>52,1%</b>	<b>64,8%</b>
<b>SECTOR TERCIARIO: RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>		
Actividades domésticas	0,0%	3,0%
Actividades comerciales	14,7%	20,0%
<b>TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL</b>	<b>2,7%</b>	<b>6,2%</b>
<b>TRATAMIENTO DE RESIDUOS</b>		
Tratamiento de residuos de porcino	45,7%	45,7%
Tratamiento de lodos de EDAR	41,2%	46,2%
Tratamiento de residuos de almazara	32,2%	99,7%
Biogás de lodos de EDAR	0,0%	100,0%
Biogás de residuos de vacuno	0,0%	100,0%
<b>TOTAL TRATAMIENTO RESIDUOS</b>	<b>19,1%</b>	<b>81,1%</b>

*Tabla 11. Grado de penetración previsto para el año 2020 en los escenarios de crecimiento considerados*

## 5.2. Evolución de nuevas instalaciones. Resultados

### 5.2.1. Potencia instalada

De acuerdo con los criterios enunciados en el punto anterior a continuación se presentan los escenarios de evolución obtenidos desagregando los sistemas de cogeneración que aportan calor útil y los sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos.

<sup>11</sup> Objetivo según la Comunicación de la Comisión al Consejo, Parlamento Europeo, Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones titulada "Estrategia comunitaria para promocionar la producción combinada de electricidad y calor y para eliminar los obstáculos para su desarrollo" de fecha 15 de octubre de 1997.

### Sistemas de cogeneración que aportan calor útil

Los escenarios se representan en la **figura 7**, en la cual los datos indicados hasta en año 2006 se corresponden con datos de potencia real instalada. El escenario *crecimiento vegetativo* supone alcanzar una potencia instalada de 8.831 MW en 2020. El escenario *optimista con políticas de impulso* prevé 9.936 MW en 2020. Este escenario es razonable considerarlo como un máximo posible de futuro. Del mismo modo, es igualmente razonable el planteamiento de una proyección de futuro entre los dos escenarios indicados.

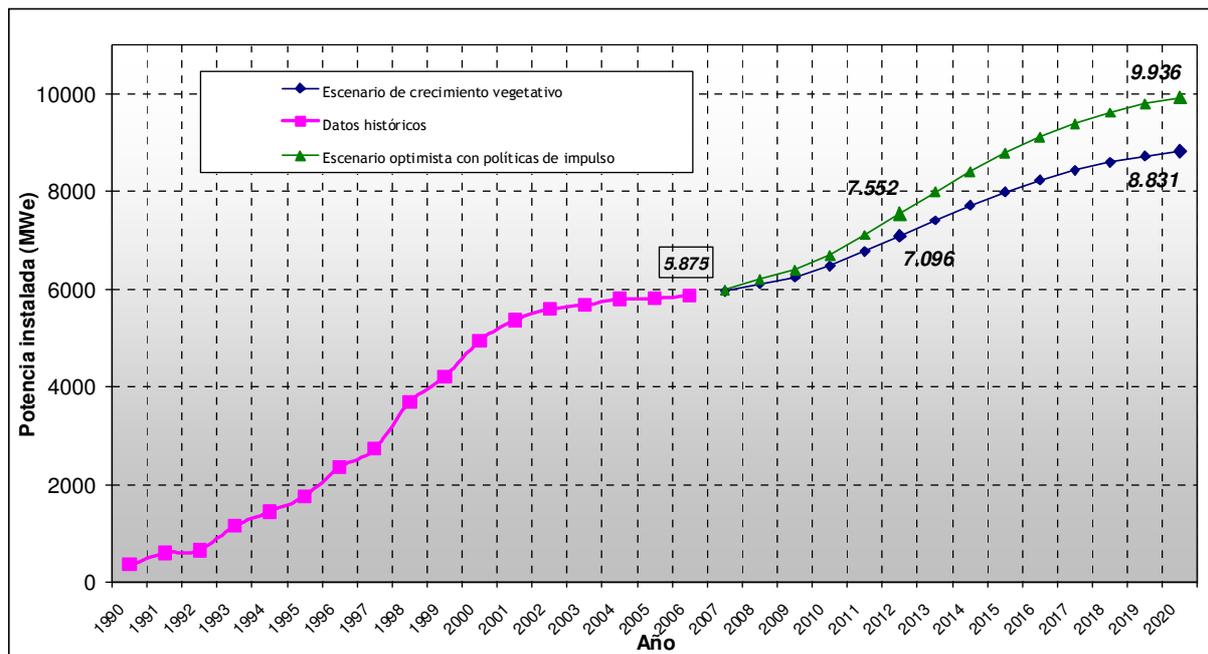
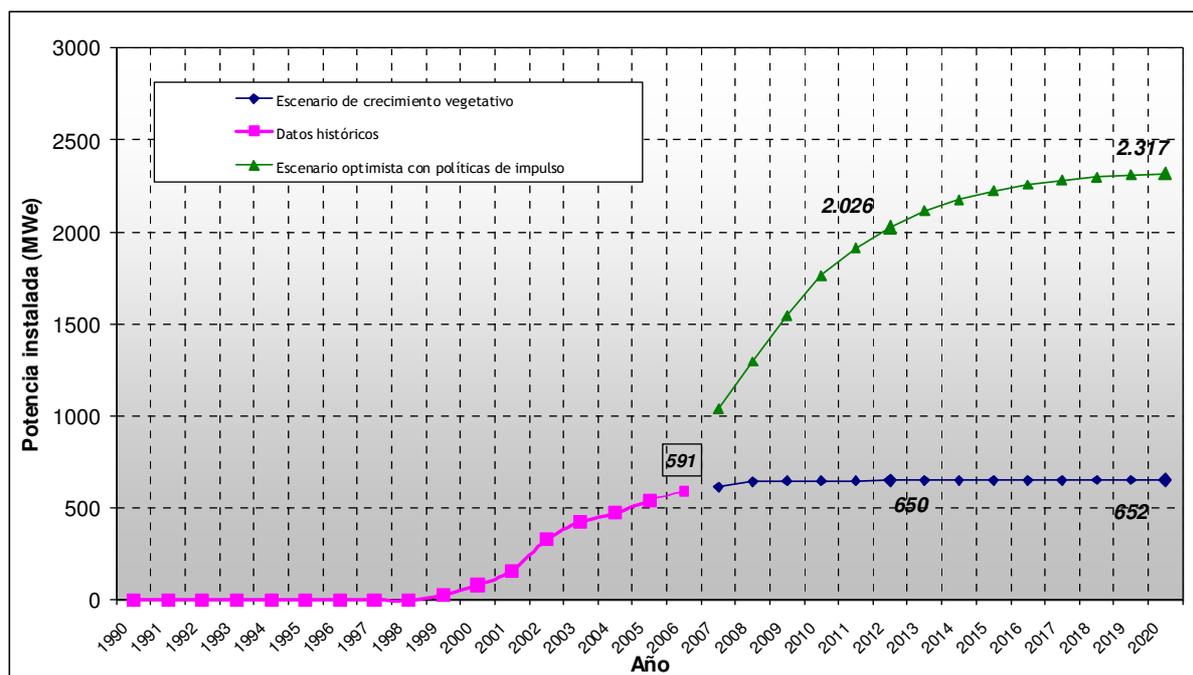


Figura 7. Escenarios tendenciales para cogeneraciones que aportan calor útil

### Sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos

En lo que respecta a los sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos, los escenarios de crecimiento se representan en la **figura 8**. En este caso el escenario *crecimiento vegetativo* supone alcanzar una potencia instalada de 652 MW en 2020. El escenario *optimista con políticas de impulso* prevé 2.317 MW instalados en 2020. Al igual que en el caso de cogeneraciones que aportan calor útil es razonable el planteamiento de cualquier proyección entre los dos escenarios indicados.



**Figura 8. Escenarios tendenciales para cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos**

***Todos los sistemas de cogeneración***

La gráfica conjunta de las dos anteriores se representa en la **figura 9**. El escenario *optimista con políticas de impulso* prevé alcanzar una potencia instalada en el 2012 de 9.579 MWe, por lo que supera el objetivo de la *Estrategia de Eficiencia Energética en España (E4)* en su Plan de Acción 2005 - 2007 que marca la consecución de 9.215 MW en 2012, objetivo que no se lograría con el escenario *crecimiento vegetativo*.

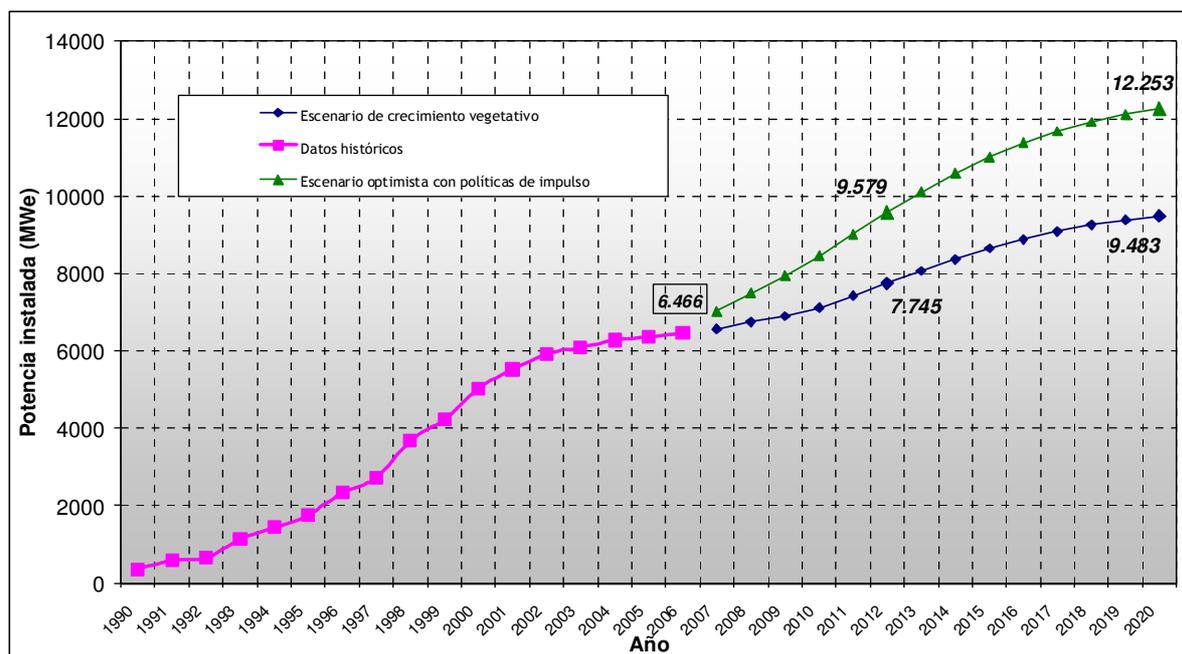


Figura 9. Escenarios tendenciales para todas las cogeneraciones

### 5.2.2. Energía eléctrica y cobertura de la demanda de electricidad

Respecto a la aportación de energía eléctrica de los sistemas de cogeneración, en el caso de cogeneraciones que aportan calor útil el estudio muestra una contribución en el 2020 de 54.854 GWh anuales para el escenario *crecimiento vegetativo* y de 61.975 GWh para el escenario *optimista con políticas de impulso*. En el caso de cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos los valores son de 4.225 y 15.128 GWh respectivamente. No obstante, estas cifras dependen fuertemente del sector en el que se desarrollen las nuevas cogeneraciones.

La cobertura de la producción de electricidad de cogeneración sobre toda la producción eléctrica oscila en los dos escenarios en un valor entre el 12 y 14% para cogeneraciones que aportan calor útil dependiendo del año proyectado, y entre el 1% y el 4% en el caso de cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos. El valor total máximo se obtiene en el año 2015 para el escenario *optimista con políticas de impulso* con un valor del 17,9%.

En cuanto a la cobertura de la demanda, considerando que es una producción local y por tanto las pérdidas son despreciables, este valor oscila entre el 13% y el 16% para cogeneraciones que aportan calor útil dependiendo del año proyectado, y entre el 1% y el 4,2% en el caso de cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos. El escenario *optimista con políticas de impulso* logra en el 2015 una cobertura total del 20%, logrando el objetivo indicativo de la Unión Europea del 18% para este año.

Los niveles de utilización de la potencia en el escenario *crecimiento vegetativo* están alrededor de las 6.250 horas al año como valor medio. El escenario *optimista con políticas de impulso* muestra unos niveles del orden de 6.280 horas anuales.

En las tablas 12 y 13 se muestran los datos comentados en este apartado.

Año	Potencia (MWe)	Electricidad generada (GWh/año)	Cobertura sobre producción	Cobertura sobre demanda
<b>ESCENARIO CRECIMIENTO VEGETATIVO</b>				
2010	6.471	39.680	11,9%	13,3%
2015	7.997	49.497	12,8%	14,3%
2020	8.831	54.854	12,5%	14,0%
<b>ESCENARIO OPTIMISTA CON POLÍTICAS DE IMPULSO</b>				
2010	6.694	41.095	12,3%	13,8%
2015	8.790	54.588	14,1%	15,8%
2020	9.936	61.975	14,1%	15,8%

Tabla 12. Valores previstos para cogeneraciones que aportan calor útil

Año	Potencia (MWe)	Electricidad generada (GWh/año)	Cobertura sobre producción	Cobertura sobre demanda
<b>ESCENARIO CRECIMIENTO VEGETATIVO</b>				
2010	647	4.196	1,3%	1,4%
2015	651	4.220	1,1%	1,2%
2020	652	4.225	1,0%	1,1%
<b>ESCENARIO OPTIMISTA CON POLÍTICAS DE IMPULSO</b>				
2010	1.765	11.504	3,4%	3,9%
2015	2.223	14.508	3,8%	4,2%
2020	2.317	15.128	3,5%	3,9%

Tabla 13. Valores previstos para cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos

### 5.2.3. Ahorro de energía primaria y cumplimiento del Protocolo de Kioto

El potencial de ahorro en términos de energía primaria, se ha calculado considerando como referencia la electricidad producida por ciclos combinados de alto rendimiento. En el caso de cogeneraciones que aportan calor útil, el escenario *crecimiento vegetativo* supone un ahorro de 2.661 ktep en el 2020, mientras que en el escenario *optimista con políticas de impulso* el ahorro en el 2020 asciende a 2.994 ktep. En el caso de cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos estos valores suponen 196 y 698 ktep de ahorro de energía primaria.

La contribución de la cogeneración que aporta calor útil al cumplimiento del Protocolo del Kioto, es de 6.216 miles de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales en 2020 según el escenario *crecimiento vegetativo* y 6.994 miles de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales en 2020 según el escenario *optimista con políticas de impulso*. Estos valores para cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos suponen 459 y 1.631 miles de toneladas de CO<sub>2</sub>. El valor total de emisiones evitadas equivale al 4,7% de los derechos asignados en España en el primer Plan Nacional de Asignación 2005-2007.

En las tablas 14 y 15 se muestran los datos comentados en este apartado.

Año	Ahorro energía primaria (ktep/año)	Miles de toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas
<b>ESCENARIO CRECIMIENTO VEGETATIVO</b>		
2010	1.950	4.555
2015	2.410	5.629
2020	2.661	6.216
<b>ESCENARIO OPTIMISTA CON POLÍTICAS DE IMPULSO</b>		
2010	2.017	4.712
2015	2.649	6.188
2020	2.994	6.994

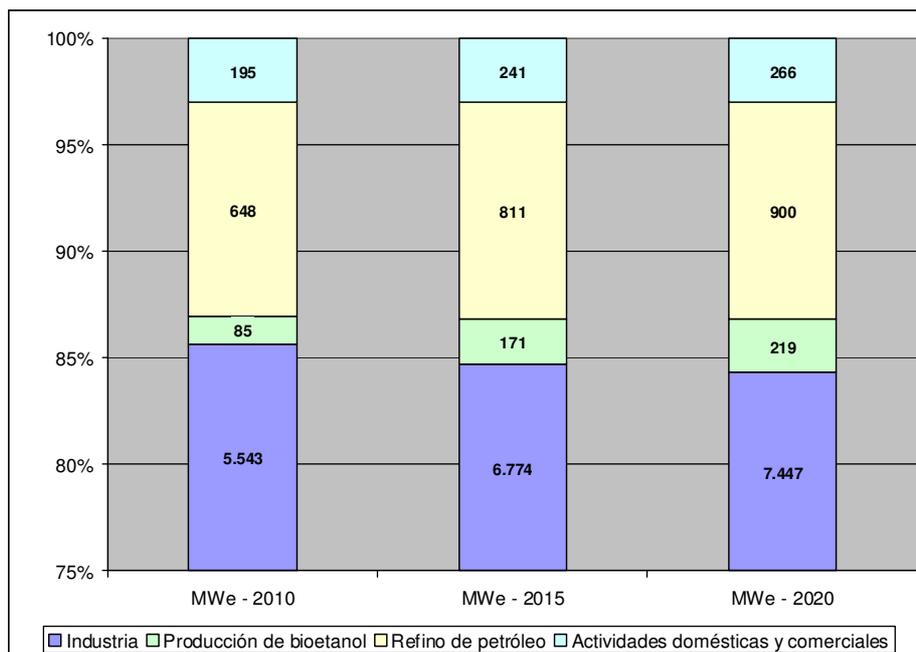
*Tabla 14. Ahorro energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas para cogeneraciones que aportan calor útil*

Año	Ahorro energía primaria (ktep/año)	Miles de toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas
<b>ESCENARIO CRECIMIENTO VEGETATIVO</b>		
2010	195	456
2015	196	458
2020	196	459
<b>ESCENARIO OPTIMISTA CON POLÍTICAS DE IMPULSO</b>		
2010	532	1.242
2015	670	1.565
2020	698	1.631

*Tabla 15. Ahorro energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas para cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos*

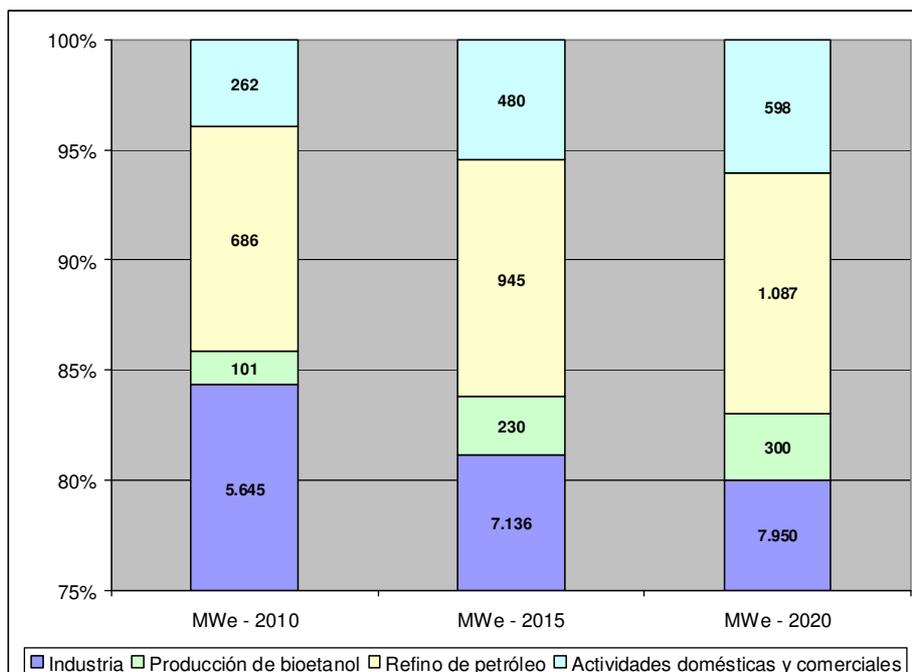
#### 5.2.4. Participación en los sectores de actividad

El reparto sectorial del potencial de cogeneración se mantiene prácticamente invariable respecto la situación actual en el escenario *crecimiento vegetativo*, debido fundamentalmente a la propia definición del escenario. En el año 2020 la industria se prevé represente del orden del 84% de la potencia instalada, mientras que el sector de refino de petróleo es el segundo más importante con un 11% de la potencia. Por otra parte, la producción de bioetanol posee un discreto 2% en potencia, mientras que el resto se encuentra repartido en aplicaciones del sector doméstico-comercial (3% de la potencia). Estos datos se representan gráficamente en la **figura 10**.



**Figura 10. Peso relativo de potencia prevista instalada 2010-2015-2020. Escenario crecimiento vegetativo**

El *escenario optimista con políticas de impulso*, cuyo reparto se indica en la **figura 11**, se basa en un aumento del grado de penetración de aproximadamente cinco puntos en media. Esto significa una presencia significativa de la cogeneración en las actividades domésticas y comerciales con un 6% en el 2020, así como la producción de bioetanol con un 3% en el 2020.



**Figura 11. Peso relativo de potencia prevista instalada 2010-2015-2020. Escenario optimista con políticas de impulso**

Respecto a plantas de cogeneración para tratamiento y aprovechamiento de residuos, el escenario *optimista con políticas de impulso* prevé para el 2020 una participación significativa de actividades como el aprovechamiento del biogás de vacuno, con 1.112 MW de potencia instalada. Estos datos se indican en la **tabla 16**.

ACTIVIDAD	Potencia prevista (MWe)		
	2010	2015	2020
Tratamiento de residuos de porcino	322	322	322
Tratamiento de lodos de EDAR	101	105	105
Tratamiento de residuos de almazara	300	300	300
Tratamiento de otros residuos	139	139	139
Biogás de lodos de EDAR	211	317	339
Biogás de residuos de vacuno	692	1.040	1.112
<b>TOTAL</b>	<b>1.765</b>	<b>2.223</b>	<b>2.317</b>

**Tabla 16. Potencia prevista para cogeneraciones de tratamiento y aprovechamiento de residuos según escenario aumento grado de saturación**

En los siguientes apartados se explica el reparto del potencial en los distintos sectores de actividad y el tipo de tecnologías y aplicaciones que se emplearán para desarrollarlo.

#### **Sector secundario: industria, bioetanol y refino**

El sector secundario supone el 90% de la potencia instalada en 2004, siendo el que cuenta con una mayor tradición en sistemas de cogeneración en España, en especial en los sectores químico, papeler, alimentación y bebidas, textil y fabricación de minerales no metálicos. El sector del refino cuenta también con una importante cuota del mercado actual de cogeneración. En este sector, la fabricación de bioetanol, por ser una actividad económica relativamente reciente - la primera planta de fabricación entró en funcionamiento en 1999 - cuenta con tan sólo dos plantas de cogeneración, una en cada fábrica operativa.

El escenario *optimista con políticas de impulso* plantea para el sector secundario un valor máximo factible en 2020 de 9.337 MW de potencia instalada, de los cuales 7.950 MW se hallan en la industria, 1.087 MW en el sector refino y 300 MW en el sector de producción de bioetanol. Estos datos se ilustran en la **tabla 17**.

ACTIVIDAD	Potencia instalada (MWe)
Sectores industriales	7.950
Bioetanol	300
Refino de petróleo	1.087
<b>TOTAL</b>	<b>9.337</b>

**Tabla 17. Participación sectorial de la potencia instalada en 2020 para el sector secundario según escenario optimista con políticas de impulso**

#### **Actividad doméstica y comercial**

Para el sector terciario el escenario *optimista con políticas de impulso* plantea un valor máximo factible para el 2020 una potencia instalada de 598 MWe. El sector terciario representa un gran potencial para nuevas aplicaciones de energía de distrito y también de microgeneración, junto con lo que se podría denominar cogeneración clásica, según el

concepto de planta industrial española. El reparto de la potencia prevista instalada en el sector terciario tiene en cuenta esta diferenciación de aplicaciones, siendo coherente con las participaciones que se verifican en países con mayor saturación en el sector terciario, como EEUU.

ACTIVIDAD	Potencia instalada (MWe)
Administración Pública	100
Calor de distrito	300
Hospitales	75
Otros edificios	123
<b>TOTAL</b>	<b>598</b>

**Tabla 18. Participación sectorial de la potencia instalada en 2020 para el sector terciario según escenario optimista con políticas de impulso**

En la **tabla 18** se indica el reparto de potencia instalada en 2020 según escenario *optimista con políticas de impulso* agrupado por áreas teniendo en cuenta particularidades tecnológicas como antes se ha indicado. Los sectores que se han tenido en cuenta son los siguientes:

- Administración pública. *Aplicaciones* en instalaciones públicas (parlamentos autonómicos, ayuntamientos, polideportivos, escuelas, universidades, etc)
- Calor de distrito. Aplicaciones '*district heating and cooling*' en sectores de actividad diversos; por ejemplo en nuevas áreas urbanísticas con uso comercial, de oficina y residencial de modo que se requiera una red de distribución de energía térmica
- Hospitales. Cogeneraciones en hospitales que no impliquen una red de distribución de energías a varios edificios
- Otros edificios: Cogeneraciones y microcogeneraciones en edificios (oficinas, hoteles, centros comerciales, palacios de congresos, etc)

#### **Tratamiento y valorización energética de residuos**

Este conjunto de actividades representa la oportunidad de aprovechar las tecnologías que la cogeneración ofrece para ahorrar energía primaria. El potencial de cogeneración en este caso lo representan tanto aplicaciones de la cogeneración clásica - normalmente en ciclos de secado - como aplicaciones de microcogeneración. Las estimaciones de potencial se comentan a continuación para cada actividad.

- Tratamiento de residuos de EDAR. Se estima una potencial alcanzable en el 2020 en el escenario *aumento grado de saturación* de unos 105 MWe
- Tratamiento de residuos de porcino. Aplicación conocida en nuestro país con 271 MWe inscritos en el régimen especial a finales de 2006. Se estima una previsión de crecimiento hasta los 322 MW en 2020
- Tratamiento de residuos de almazara. Esta aplicación, al igual que la anterior, también es conocida en nuestro país. Se estima que se pueda alcanzar según escenario *optimista con políticas de impulso* los 300 MW instalados en 2020

- Tratamiento de otros residuos. Aplicaciones de cogeneraciones en sectores como el de tratamiento de lodos de industrias de la alimentación. Se estima un valor en el 2020 en el escenario *optimista con políticas de impulso* de 139 MWe
- Aprovechamiento de biogás de lodos de EDAR. Se estima una potencia instable para el 2020 según escenario *aumento grado de saturación* de 339 MW
- Aprovechamiento de biogás de residuos de vacuno. Este tipo de aplicación, según se ha contrastado en especial con el Principado de Asturias, resultaría interesante. En este caso, el combustible es renovable, de modo que la cogeneración es doblemente eficiente, incluso habría ahorro de energía primaria aun sin aprovechar el calor, es decir, generando electricidad con biogás de digestión. El aprovechamiento de todo el potencial, que corresponde a aproximadamente la mitad de ganado vacuno en España, supondría 1.112 MW de potencia en 2020

#### 5.2.5. Potencial de microgeneración 2010 - 2015 - 2020

La microgeneración según queda definida en la Directiva 2004/8/CE es aquella con una potencia inferior a los 50 kWe. Este nivel de potencia es comparable con la potencia contratada usualmente por 10 pisos de obra nueva equipados con todo tipo de electrodomésticos (excepto la cocina) y climatización eléctrica. No obstante lo anterior, tanto por su campo de aplicación como por la tecnología disponible, en este apartado se ha considerado las instalaciones con menos de 300 kW eléctricos instalados y con equipos cuya *potencia unitaria* no supera los 100 kW eléctricos.

Usualmente la microgeneración es un tipo de planta normalmente destinada al sector terciario, centros aislados de la red eléctrica y otras aplicaciones con gases especiales como el biogás de vertederos o de digestión anaerobia en depuradoras o explotaciones agrícolas.

En el sector terciario su aplicación se encuentra en todos los centros en los que hay una gran demanda de calor como hoteles, hospitales, clubes deportivos, piscinas climatizadas, edificios públicos, etc.

Por lo que se refiere al uso de combustibles renovables como el biogás, el potencial se centra en los vertederos de tamaño mediano (hasta 300 Nm<sup>3</sup>/h de biogás) y las plantas de digestión anaerobia de entre 1.000 y 4.000 m<sup>3</sup> de volumen en digestores. En este segundo grupo se incluyen tanto las depuradoras urbanas o industriales como las digestiones ubicadas en granjas o explotaciones agrícolas.

Por último hay un campo de aplicación muy interesante en centros aislados de la red eléctrica. Con la microgeneración pueden conseguir ahorros energéticos y al mismo tiempo disponer de equipos con alta disponibilidad que garantice la producción de electricidad.

En resumen, la microgeneración es un sector *maduro tecnológicamente*, del que existen numerosas aplicaciones en todo el mundo y se considera como *sistema de ahorro energético en edificios, así como solución a la valorización del biogás* en plantas que, por su poca producción, actualmente es incinerado en antorchas.

El potencial de microgeneración debe entenderse, al igual que los escenarios definidos, como un objetivo razonable en base al potencial tecnológico. En la **tabla 19** se indica este potencial en función del campo de aplicación.

Campo de aplicación	2010	2015	2020
Edificios de Administraciones Públicas	1.500	5.000	10.000
Biogás de residuos de porcino	750	10.000	20.000
Biogás de depuración de aguas	1.000	2.500	5.000
Otros edificios	2.000	10.000	20.000
<b>TOTAL</b>	<b>5.250</b>	<b>27.500</b>	<b>55.000</b>

**Tabla 19. Potencial de microgeneración en kW eléctricos**

### 5.2.6. Potencial de cogeneración de calor y frío de distrito

Entendemos por *plantas de cogeneración de calor y frío de distrito* aquellas que cuentan con una red de distribución de energía térmica - calor y/o frío - que suministra esta energía a varios consumidores. En España este tipo de aplicación no se halla implantada de forma significativa, a diferencia de otros países, fundamentalmente de la Europa del este.

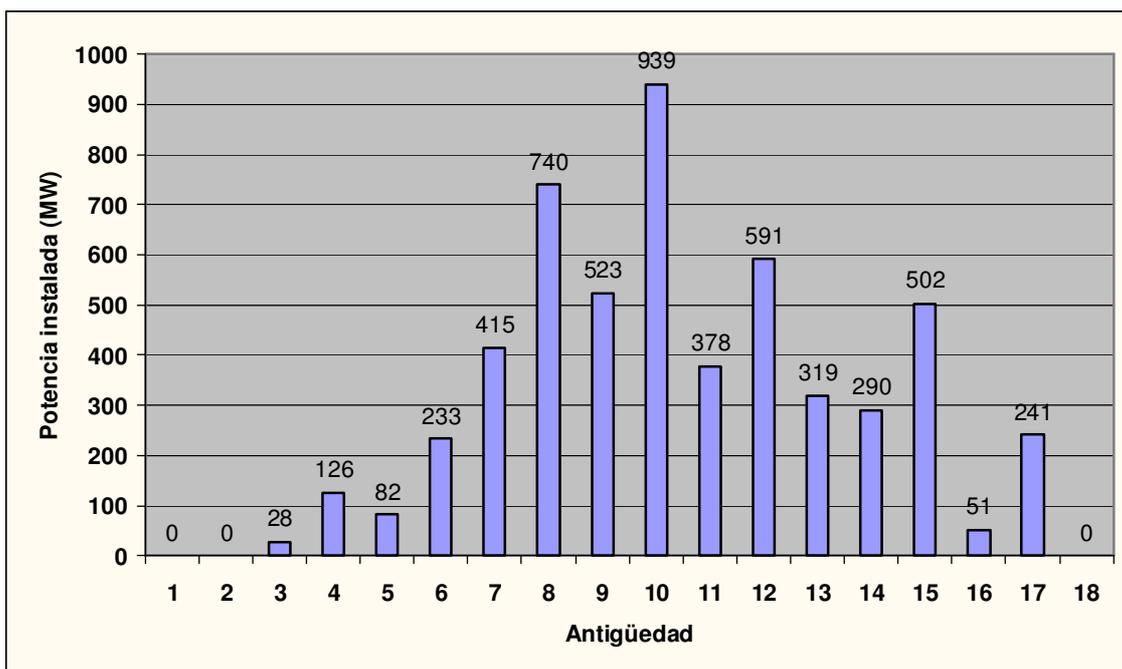
El estudio de potencial de cogeneración identifica la posibilidad de instalar 300 MW, lo que representa un 43% de la potencia en el *sector terciario* (**tabla 18**). Este tipo de proyectos pueden ir asociados a proyectos de remodelación de áreas urbanas que engloben diversos usos como oficinas, centros comerciales y residencias.

### 5.3. Potencial de renovación del parque actual

El sector secundario cuenta con la mayor parte de la potencia de cogeneración instalada actualmente en España. Para el 2007 se prevén 3.310 MW instalados con diez o más años de operación, repartidos en 594 emplazamientos. De estos, 794 MW repartidos en 115 plantas tendrán quince o más años de operación. La renovación de esta potencia puede suponer un aumento o bien un decremento de la potencia instalada en estos mismos emplazamientos, en función de la mejora de los rendimientos, de la variación de la demanda de calor útil y de las horas de uso de las plantas. En la **figura 12** se indica gráficamente la antigüedad del parque actual de cogeneración.

Los 3.310 MW con diez o más años de operación se pueden convertir en 3.970 MW operando 6.150 horas al año con un rendimiento eléctrico del 34,8% y un rendimiento global del 77,0%; por otra parte los 2.148 MW restantes actualmente instalados alcanzarán los diez años de operación mínima en 2015, pudiendo renovarse en 3.140 MW con las mismas condiciones de operación y rendimiento.

De acuerdo a lo anterior, el potencial de renovación máximo del parque actual puede cifrarse en 660 MW en el periodo 2007 - 2015 y 992 MW a partir de 2015. En total, 1.652 MW adicionales a la potencia instalada en 2004.

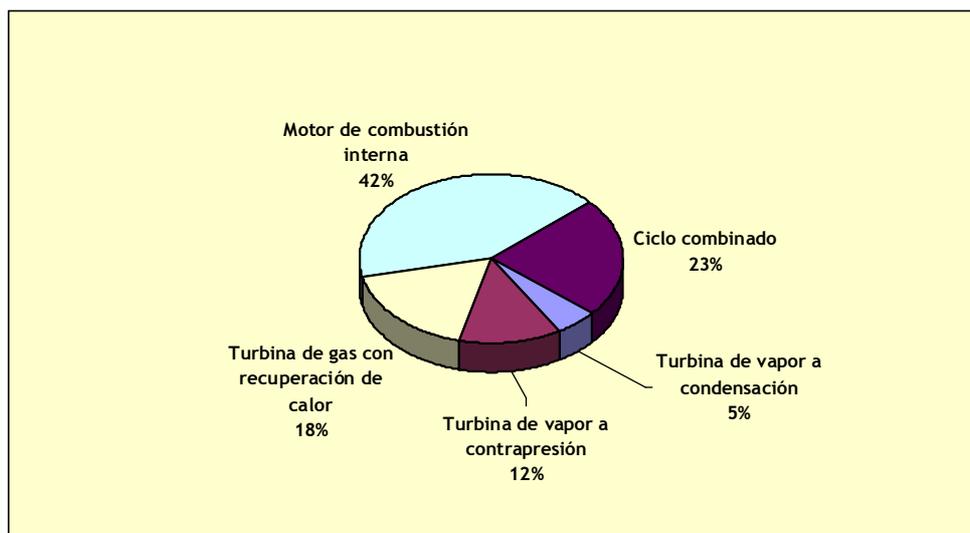


**Figura 12. Antigüedad del parque de cogeneración. Debe leerse: en 2007 hay 939 MW con 10 años de operación. Elaboración propia a partir de datos de la CNE**

## 6. Características de las nuevas instalaciones del potencial

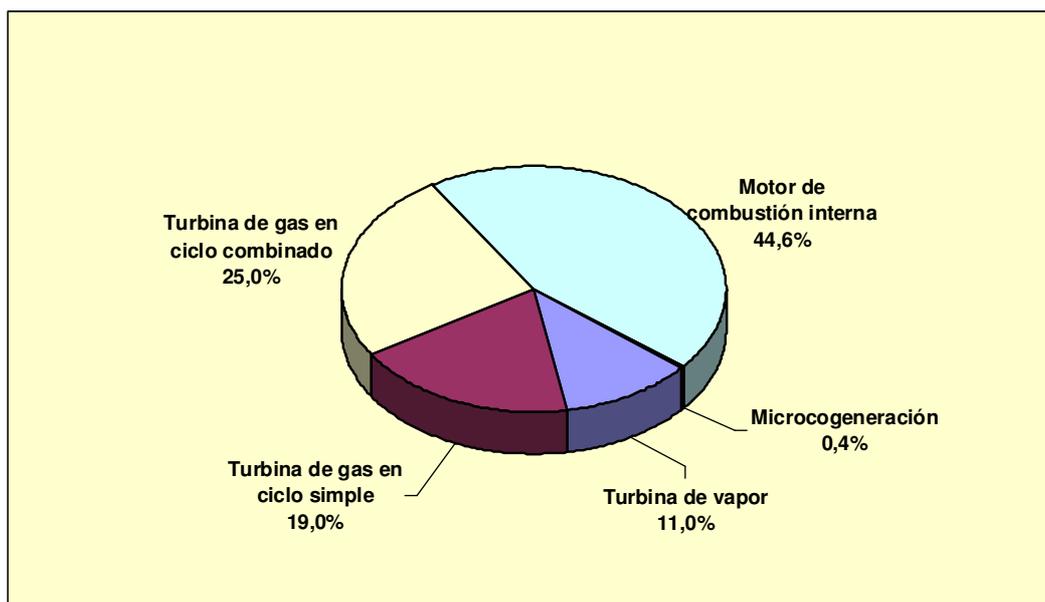
### 6.1 Tecnologías

De cara a evaluar las tecnologías a emplear para desarrollar el potencial de cogeneración futuro es importante tener en cuenta que la potencia actual instalada cubre un amplio abanico de tecnologías. Esto se ilustra gráficamente en la **figura 13**, la cual ofrece datos del año 2004.



**Figura 13. Reparto de la potencia instalada categoría autogeneradores según tecnologías. Datos IDAE del año 2004**

Las tecnologías mayoritarias en la actualidad son los ciclos basados en motores de gas y turbinas de gas, tanto en ciclo simple - 18% de la potencia actual - como en ciclo combinado - 23% de la potencia instalada. Las turbinas de vapor han ido sustituyéndose por ciclos combinados y es previsible que en el futuro tan sólo se empleen en ciclos con combustible renovable como en el caso de combustión de restos de almazara. Para las nuevas instalaciones también se prevé que los ciclos con motores de gas y los ciclos combinados constituyan la mayor parte de los casos. La **figura 14** muestra la participación de las distintas tecnologías en el desarrollo del potencial de cogeneración.



**Figura 14. Potencial de cogeneración según tecnologías a emplear**

El espectro de tecnologías para desarrollar el potencial se prevé similar al actual con la salvedad de que las turbinas de vapor se incrementarán en el sector renovable y en el refino; en cambio en el resto de sectores se transformarán en ciclos combinados o bien serán sustituidas por ciclos simples.

Las microcogeneraciones, a pesar del potencial previsto, no tienen un peso relativo importante debido a la *distinta escala de potencia* de los equipos, lo cual en absoluto se ha de interpretar como poca penetración de este tipo de tecnología.

En el sector industrial se prevé que se mantenga el peso de los ciclos simples con motor de gas - 43% - y las turbinas en ciclo simple - 20%- sin embargo las turbinas de vapor cederán terreno a los ciclos combinados que pasarán a representar el 19% de la potencia instalada en el sector industrial.

En las aplicaciones de tratamiento de residuos la mayor parte de la potencia - entre un 80 y un 90% - corresponderá a motores de combustión interna. El sector de aplicaciones en edificios y calor y frío de distrito ofrece más variedad de tecnologías (61% motores, 55% turbinas en ciclo combinado y 9% microcogeneraciones).

## 6.2. Combustibles empleados

El desarrollo de la cogeneración en España ha ido ligado a la gasificación de la misma. Los sistemas de cogeneración, al tener consumos firmes y programas de trabajo de larga utilización, resultan apropiados para la amortización de infraestructuras gasistas. De hecho, en países como Colombia, Brasil y el sureste de Europa, se está ligando el trazado de tubos al desarrollo de la cogeneración. Actualmente, el 82% de la electricidad producida por cogeneración de la categoría entendida como autoprodutores se hace a partir de gas natural, seguido del 15% en base a consumo de fuelóleo.

Es previsible que el crecimiento de la cogeneración se realice en base a gas natural, fundamentalmente debido a que España aún está en proceso de gasificación y por las

múltiples ventajas de uso de este combustible, entre las que se encuentran la alta disponibilidad y facilidad de manejo en el sector terciario, así como sus menores emisiones de gases contaminantes.

En cuanto al potencial de cogeneración en base a combustible de origen renovable, la **tabla 20** muestra que en la actualidad representa un 5,6% del total. El escenario *optimista con políticas de impulso*<sup>12</sup> contempla utilizar el 100% de los recursos renovables por considerarlos autóctonos, con una previsión para el 2020 de una potencia instalada total en aplicaciones de biogás de 1.451 MWe, aportando un calor útil de 10.851 GWh anuales. Es destacable el alto potencial en el sector del ganado vacuno.

ACTIVIDAD	Año 2004		Año 2010		Año 2020	
	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh/año)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh/año)	Potencial tecnológico (MWe)	Calor útil (GWh/año)
Biogás de lodos de EDAR	294	2.264	312	2.400	339	2.604
Biogás de residuos de vacuno	792	5.870	920	6.821	1.112	8.247
<b>TOTAL</b>	<b>1.086</b>	<b>8.134</b>	<b>1.232</b>	<b>9.221</b>	<b>1.451</b>	<b>10.851</b>

**Tabla 20. Potencial de cogeneración a partir de combustible renovable. Escenario optimista con políticas de impulso**

<sup>12</sup> El escenario *mantener saturación 2004* no aporta datos relevantes ya que se basa en mantener cuotas actuales, prácticamente nulas.

## **7. Barreras al desarrollo del potencial de cogeneración**

### **7.1. Legislativas**

Uno de los principales aspectos debido al cual la cogeneración no ha tenido un progreso significativo en los últimos años es la *transitoriedad de los regímenes económicos y legales* publicados a partir del RD 2818/1998, posteriormente sustituido por el RD 436/2004, sustituido a su vez por el vigente RD 661/2007. Es indudable la necesidad de un marco legal estable que garantice una rentabilidad razonable a largo plazo para los promotores de plantas de cogeneración.

Por otra parte, otro aspecto que constituye una barrera es la complejidad de la legislación aplicable, la cual puede crear confusión y doble interpretación.

Finalmente, existe una barrera normativa entre cogeneraciones hasta y a partir de 50 MW, valor que distingue el régimen especial y el ordinario. De este modo, los sistemas de cogeneración por encima de 50 MW poseen menos incentivación, desaprovechando las eficiencias y economías de escala de proyectos mayores.

### **7.2. Económicas**

La principal barrera económica consiste en la falta de reflejo de la variación de costes de combustibles en la tarifa, no logrando en muchos casos una rentabilidad mínima razonable en los proyectos.

Por otra parte, la actual discriminación en función de la potencia instalada mediante saltos discretos ocasiona en ciertas situaciones la elección de una solución técnica hacia economías no siempre óptimas en cuanto a ahorro de energía primaria. Esto es especialmente acusado en el salto de menos a más de 10 MW.

En cuanto al establecimiento de los soportes económicos, la letra de la Ley indica que se conceden en base al ahorro de energía primaria, de emisiones a la atmósfera y teniendo en cuenta la tensión de interconexión. Sin embargo, la cuantificación de estos efectos no es transparente y, por tanto, es difícil distinguir la parte de soporte que persigue promocionar la cogeneración de la parte que internaliza los costes externos de la producción distribuida y del ahorro de energía primaria. Distinguir los costes externos daría seguridad a los inversores pues supondría reconocer una parte retributiva y no de soporte transitorio o arbitrario.

### **7.3. Administrativas**

Un punto importante para la viabilidad de cualquier proyecto consiste en disponer de *conexión a la red*. El hecho de que las compañías eléctricas que gestionan la red sean en ocasiones las mismas que compiten como suministradores de energía eléctrica con proyectos de cogeneración ha llevado a situaciones de falta de competencia. Es necesaria la articulación de mecanismos administrativos de control para el cumplimiento del derecho de acceso a la red.

#### 7.4. Técnicas

La falta de suministro de gas natural sigue siendo una barrera importante, especialmente para el caso de sistemas de cogeneración de pequeña potencia.

## 8. Conclusiones

El estudio de potencial de cogeneración establece como primer resultado importante el hecho de que hay un gran mercado potencial para este tipo de sistemas, que se cifra en 24.606 MWe en 2020 para cogeneraciones que aportan calor útil, y 2.685 MWe para sistemas de cogeneración de tratamiento y valorización de residuos. Del total del potencial tecnológico previsto para el 202, 14.903 MWe se encuentra en el sector industrial y refino de petróleo, mientras que otros 9.703 MW se encuentran en aplicaciones del sector doméstico-comercial.

En cuanto al potencial no explotado en la actualidad los sectores con mayor potencial disponible son el terciario con más del 97% de disponibilidad y el de tratamiento y valorización de residuos con más del 80% del potencial aún por realizar. Actualmente la cifra de cogeneraciones instaladas que aportan calor útil es de 5.800 MWe, con un grado de penetración sobre el potencial del 33,6%, es decir, aún hay disponible el 66,4% del potencial de cogeneración. Por otra parte el potencial de renovación máximo hasta 2020 del parque de cogeneración actual es de 1.652 MWe adicionales a la potencia instalada en 2004.

Respecto al desarrollo futuro de la potencia instalada, este estudio plantea dos sendas de evolución: una primera basada en un mantenimiento del grado de penetración sectorial, y una segunda basada en un aumento de los grados de penetración en base a políticas de impulso de la cogeneración. Cualquier escenario de evolución entre ellas es planteable como objetivo de futuro. La **figura 7** aquí reproducida de nuevo muestra dos escenarios considerados: escenario ‘crecimiento vegetativo’ y escenario ‘optimista con políticas de impulso’ para las cogeneraciones que aportan calor útil. Del mismo modo la **figura 8** muestra dichos escenarios para las cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos.

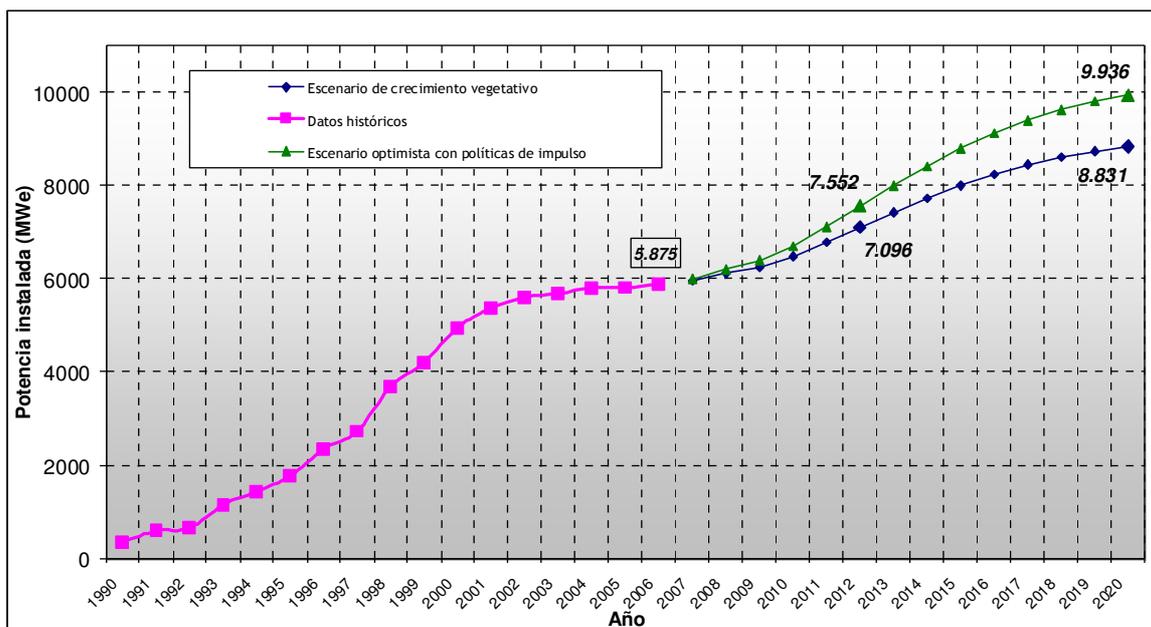
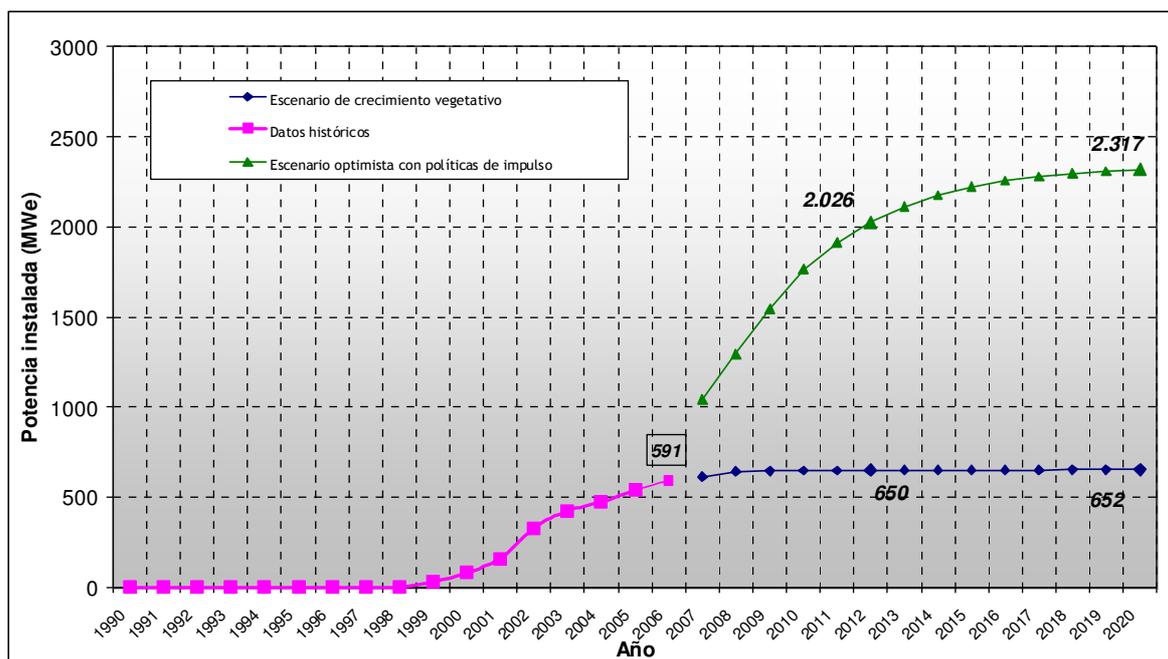


Figura 7. Escenarios tendenciales para cogeneraciones que aportan calor útil



**Figura 8. Escenarios tendenciales para cogeneraciones de tratamiento y valorización de residuos**

Como se puede observar las cifras de potencia instalada oscilarían en el año 2020 entre 8.831 y 9.936 MWe para cogeneraciones que aportan calor útil, y 652 y 2.317 para cogeneraciones de tratamiento de residuos. El escenario ‘optimista con políticas de impulso’ prevé alcanzar una potencia instalada de todas las cogeneraciones en el 2012 de 9.579 MWe, por lo que supera el objetivo de la Estrategia de Eficiencia Energética en España (E4) en su Plan de Acción 2005 - 2007 que marca la consecución de 9.215 MWe para el 2012.

Por último es destacable la referencia de este estudio al potencial en el desarrollo de nuevas aplicaciones y tecnologías como son el *district heating and cooling* - que se cifra en unos 300 MW - y la microcogeneración - con 55 MW.

## **Bibliografía**

---

### **Directivas Europeas**

- [ 1 ]. Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero de 2004 relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE.
- [ 2 ]. Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.
- [ 3 ]. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

### **Estrategias y Planes españoles del sector de la energía y residuos**

- [ 4 ]. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *Planificación y Desarrollo de las Redes de Transporte Eléctrico y Gasista 2002-2011. Revisión 2005-2007*. Noviembre 2005.
- [ 5 ]. MINISTERIO DE ECONOMÍA. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*. 28 de noviembre de 2003.
- [ 6 ]. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *Plan de acción 2005-2007. Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*. 6 de julio de 2005.
- [ 7 ]. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*. Diciembre 1999.
- [ 8 ]. RESOLUCIÓN de 14 de junio de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 1 de junio de 2001, por el que se aprueba el *Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001 - 2006*.

### **Comercio de derechos de emisión**

- [ 9 ]. REAL DECRETO 1866/2004, de 6 de septiembre, por el que se aprueba el *Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión, 2005-2007*.

### **Normativa legal sobre la actividad de cogeneración como parte del sector eléctrico**

- [ 10 ]. LEY 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- [ 11 ]. REAL DECRETO LEY 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético.
- [ 12 ]. REAL DECRETO 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables.

- [ 13 ]. REAL DECRETO 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.
- [ 14 ]. REAL DECRETO 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

### Publicaciones

- [ 15 ]. EUROPEAN COMMISSION DG TREN *Guidelines for Implementation of the CHP Directive 2004/8/CE. Draft Interim Version 2.* 16 November 2005.
- [ 16 ]. IDAE. *Boletín IDAE. N°6 Marzo 2004.*
- [ 17 ]. MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *La Energía en España 2003.*
- [ 18 ]. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. *Anuario de Estadística Agroalimentaria. 2004.* [www.mapa.es](http://www.mapa.es)
- [ 19 ]. ANTONIO CREUS SOLÉ. *Energías Renovables.* Ceysa Editorial Técnica. Junio 2004.
- [ 20 ]. U.S.CHPA and U.S. Department of Energy. *Nacional CHP Roadmap. Doubling Combined Heat and Power Capacity in the United States by 2010.* March 2001.
- [ 21 ]. WADE (World Alliance for decentralized energy) *World Survey of Decentralized Energy 2006.* May 2006.
- [ 22 ]. ENERGY CHARTER SECRETARIAT. *Cogeneration and District Heating. Best Practices for Municipalities.* March 2006.
- [ 23 ]. SEDIGAS. *Informe anual 2004.* Editado en 2005.
- [ 24 ]. AESA. *Estudio de tecnologías de secado térmico de fangos con calor residual de plantas de generación de electricidad.* Mayo de 1998.

### Comunidades Autónomas

- [ 25 ]. GOBIERNO DE ARAGÓN, CIRCE. *Análisis del Potencial de Ahorro y Eficiencia energética en Aragón. Realización de diagnósticos energéticos y extrapolación sectorial.* 2000.
- [ 26 ]. GOBIERNO DE ARAGÓN. *Plan Energético de Aragón 2005-2012.* 2005.
- [ 27 ]. GOBIERNO DE ARAGÓN. *Los balances energéticos regionales en el periodo 1998-2004. Datos y análisis para una estrategia energética.*
- [ 28 ]. GOBIERNO DE ARAGÓN. *Boletín de Coyuntura Energética en Aragón.* Julio 2005. GOBIERNO DE ARAGÓN. *Boletín de Coyuntura Energética en Aragón.* Diciembre 2005.
- [ 29 ]. AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA (AVEN). *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana.* Junio de 2003.
- [ 30 ]. CONSELLERIA D'INFRAESTRUCTURES I TRANSPORT. COMUNITAT VALENCIANA. *Datos Energéticos de la Comunidad Valenciana 2004.*
- [ 31 ]. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. COMUNIDAD DE MADRID. *Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012.*

- [ 32 ]. INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. Potencial de cogeneración en Cataluña. Abril 2005.
- [ 33 ]. GOVERN DE LA GENERALITAT. Pla de l'energia 2006-2015.

#### Revistas

- [ 34 ]. ANAPORC (Asociación Nacional de Porcinocultura Científica). *Las 17 plantas de purines existentes en España podrían cerrar si no se modifica su régimen*. 21 de julio de 2004. [www.anaporc.com](http://www.anaporc.com)
- [ 35 ]. INFOPOWER. *Planta de producción de bioetanol con cogeneración asociada de 21.3 MW mediante turbina de gas en ciclo simple, en el Valle de Escombreras (Murcia)*. Abril 2001.
- [ 36 ]. INFOPOWER. *“Bioetanol Galicia” Planta para la producción de 126.500 m<sup>3</sup>/año de bioetanol y 120.000 t/año de DDGS con cogeneración asociada de 24.8 MW en Teixeiro - Curtis, A Coruña*. Noviembre-Diciembre 2002.
- [ 37 ]. OILGAS *Puesta en Marcha de la planta de hidrotreatmento de carga de FCC en la refinería de Repsol YPF en La Coruña*. Julio/Agosto 2005.
- [ 38 ]. OILGAS *La industria del refino en España: Inversiones y Actualidad*. Julio/Agosto 2005.
- [ 39 ]. OILGAS *Plan Estratégico Repsol YPF de inversiones 2005-2009 en el área de refino*. Diciembre 2005.
- [ 40 ]. OILGAS *Estrategia de biocarburantes para España 2005-2010*. Diciembre 2005.

## **ANEXO I. Caracterización sectorial de la demanda de calor útil**

En este anexo se detalla el análisis de los consumos de combustibles para los sectores incluidos en este estudio, así como la cuantificación de calor que puede ser generado por una cogeneración y de este modo considerarse como potencial de calor útil. También se representa para cada sector el diseño de los sistemas de cogeneración (potencial tecnológico) que optimiza el ahorro de energía primaria.

## A. Sector industrial. Subsector papel y cartón

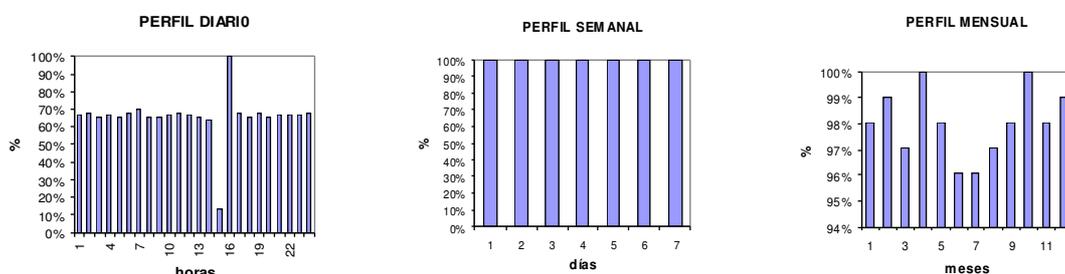
### A.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: 2.236 ktep
- Consumos por combustibles año 2004: 1.412 ktep
  - Gas natural 1.158 ktep
  - Productos petrolíferos 254 ktep
  - Carbón 0 ktep
- Demanda de calor útil: 1.234 ktep (14.351 GWh)
  - Gas natural 1.019 ktep
  - Productos petrolíferos 216 ktep
  - Carbón 0 ktep

La demanda habitual de calor es en forma de vapor de agua que puede ser generado íntegramente por cogeneración.

### A.2. Programa de trabajo

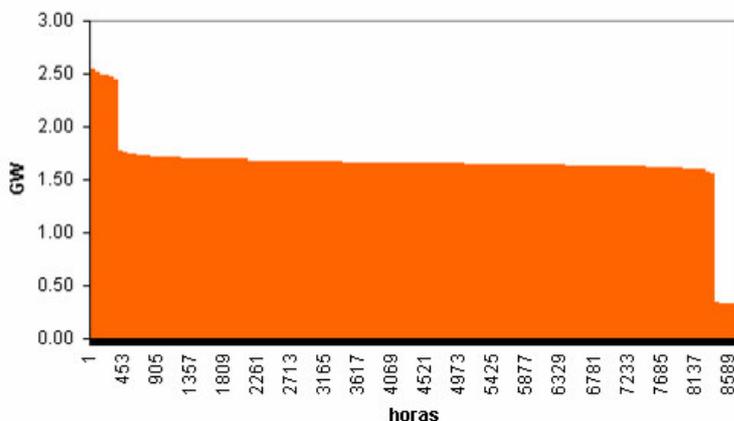
Producción las 24 horas del día, 7 días a la semana con una pequeña variación mensual no significativa. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



### A.3. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 14.351 GWh/año.



El consumo de calor útil es constante y uniforme a lo largo de la mayor parte del año. Esto se debe a un programa de trabajo extenso sin apenas interrupciones y a un consumo de vapor de proceso bastante constante durante todo el día.

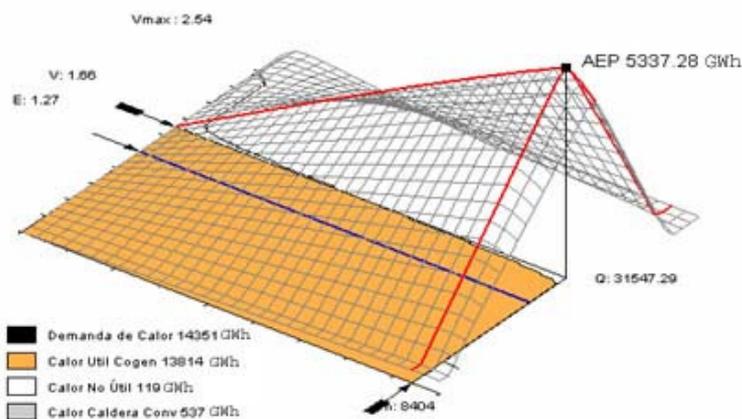
#### A.4. Tecnologías de cogeneración

Presencia mayoritaria de ciclos combinados y turbinas de gas.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 34%
- Rendimiento global: 78%

#### A.5. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 1.270 MWe**
- Calor útil asociado: 13.814 GWh (96,2% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 8.404 h

### B. Sector industrial. Subsector textil

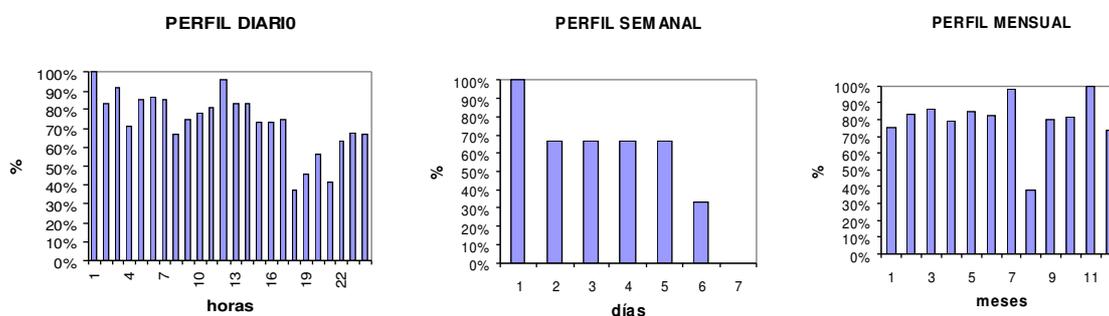
#### B.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: 1.299 ktep
- Consumos por combustibles año 2004: 875 ktep
  - Gas natural 736 ktep
  - Productos petrolíferos 139 ktep

- Carbón 0 ktep
- Demanda de calor útil: 766 ktep (8.902 GWh)
  - Gas natural 648 ktep
  - Productos petrolíferos 118 ktep
  - Carbón 0 ktep

## B.2. Programa de trabajo

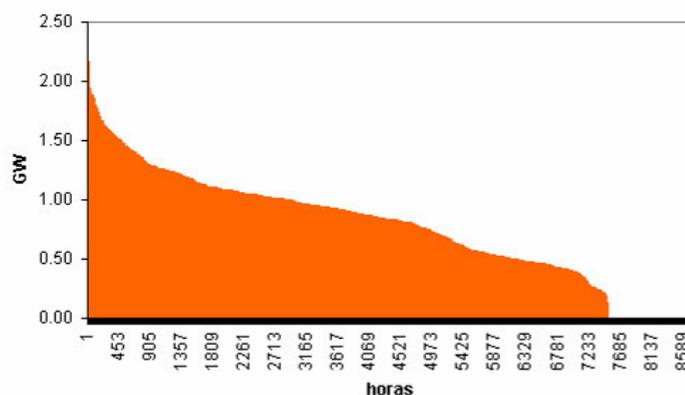
Producción las 24 horas del día de lunes a sábado. El programa diario es oscilante debido a la existencia de varios puntos de consumo de vapor. En el programa semanal el lunes se efectúa mayor consumo por el arranque de máquinas y el sábado se efectúa un menor consumo por el trabajo a un solo turno. El programa mensual no presenta variaciones significativas excepto el mes de agosto por el periodo vacacional. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



## B.3. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 0,75

Potencial de calor útil: 6.687 GWh/año.



El consumo de calor útil no es constante por las oscilaciones diarias de consumo y el perfil decreciente a lo largo de la semana laboral.

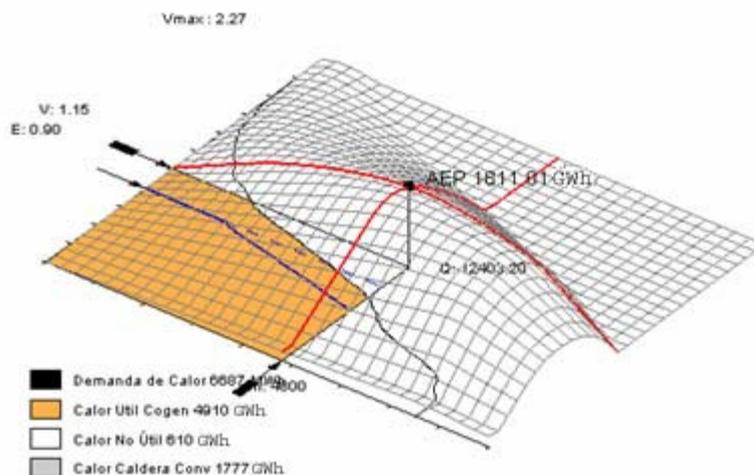
## B.4. Tecnologías de cogeneración

Presencia mayoritaria de motores de combustión interna y ciclos combinados.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 36%
- Rendimiento global: 77%

## B.5. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: **898 MWe**
- Calor útil asociado: **4.910 GWh (73,4% del total)**
- Horas anuales de funcionamiento: **4.800 h**

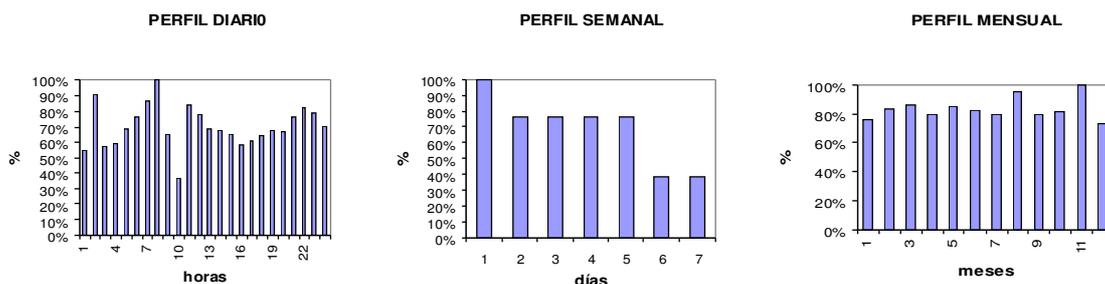
## C. Sector industrial. Subsector químico

### C.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: **4.153 ktep**
- Consumos por combustibles año 2004: **2.865 ktep**
  - Gas natural **2.042 ktep**
  - Productos petrolíferos **702 ktep**
  - Carbón **121 ktep**
- Demanda de calor útil: **2.491 ktep (28.950 GWh)**
  - Gas natural **648 ktep**
  - Productos petrolíferos **118 ktep**
  - Carbón **0 ktep**

### C.2. Programa de trabajo

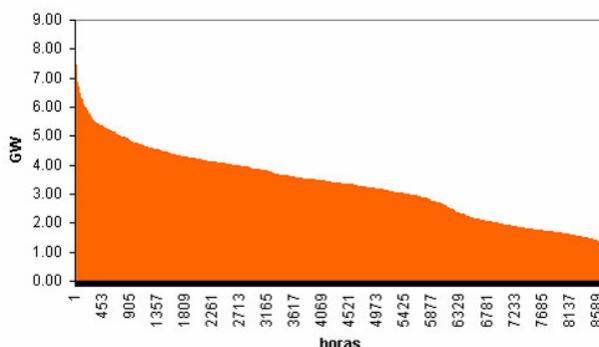
Producción las 24 horas del día de lunes a domingo. El programa diario es variable debido a la fabricación de distintos productos en la misma fábrica con diferentes requerimientos de vapor. En el programa semanal el sábado se efectúa un menor consumo por el trabajo a un solo turno. El programa mensual no presenta variaciones significativas. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



### C.3. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 28.970 GWh/año.



El consumo de calor útil no es constante por el perfil de trabajo variable con tendencia decreciente.

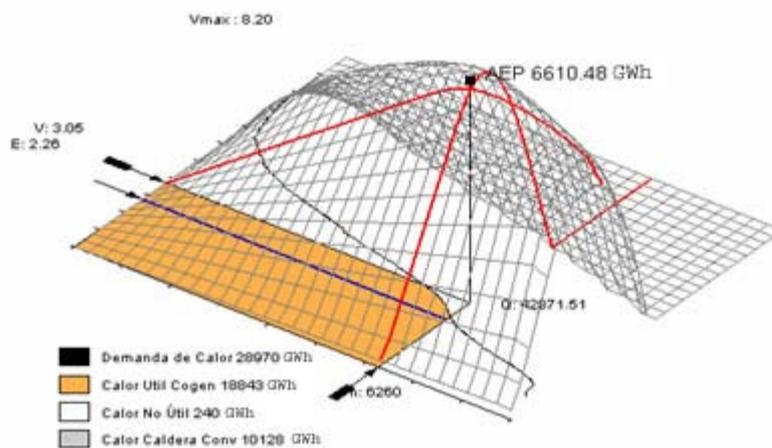
### C.4. Tecnologías de cogeneración

En el sector se hayan presentes de forma significativa todas las tecnologías: motores, turbinas de gas, ciclos combinados y turbinas de vapor.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 33%
- Rendimiento global: 77%

### C.5. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: 2.255 MWe
- Calor útil asociado: 18.843 GWh (65% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.260 h

## D. Sector industrial. Subsector alimentación

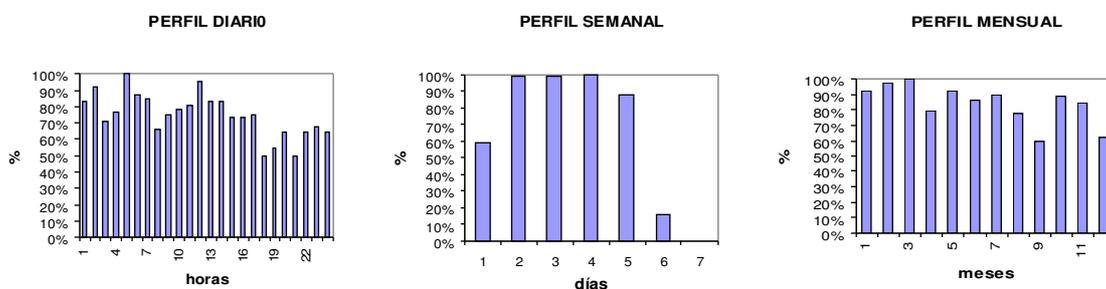
### D.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: 2.682 ktep
- Consumos por combustibles año 2004: 1.512 ktep

- Gas natural 1.047 ktep
- Productos petrolíferos 458 ktep
- Carbón 7 ktep
- Demanda de calor útil: 1.316 ktep (15.305 GWh)
  - Gas natural 921 ktep
  - Productos petrolíferos 389 ktep
  - Carbón 5 ktep

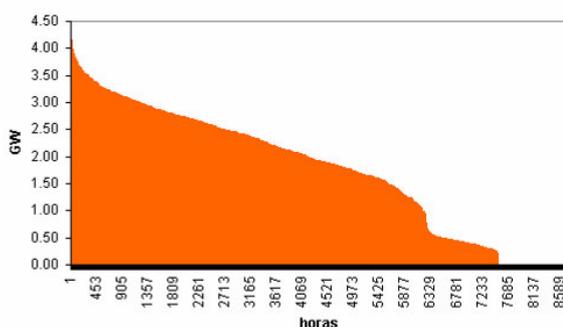
## D.2. Programa de trabajo

Producción las 24 horas del día de lunes a sábado. El programa diario es variable debido a la fabricación de distintos productos en la misma fábrica con diferentes requerimientos de vapor. En el programa semanal el sábado se efectúa un menor consumo por el trabajo a un solo turno. El programa mensual no presenta variaciones significativas. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



## D.3. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 1  
 Potencial de calor útil: 15.305 GWh/año.



El consumo de calor útil no es constante por el perfil de trabajo variable con tendencia decreciente.

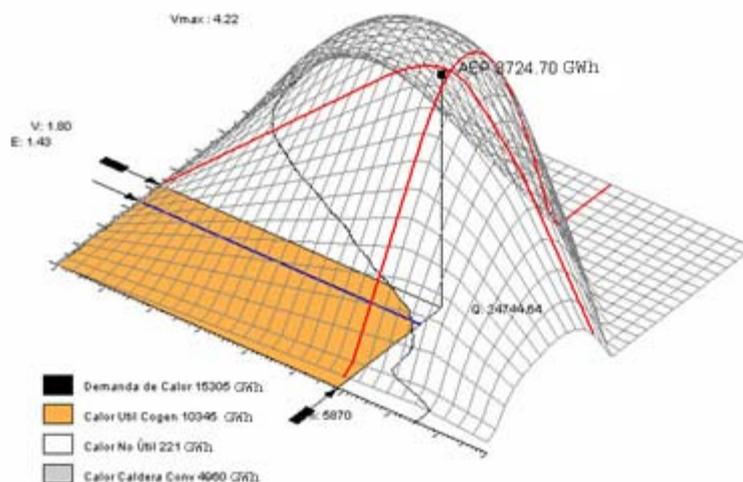
## D.4. Tecnologías de cogeneración

La presencia de motores de combustión interna es dominante en el sector, aunque también están presentes turbinas de gas y turbinas de vapor.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 34%
- Rendimiento global: 76%

## D.5. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: 1.427 MWe
- Calor útil asociado: 10.345 GWh (67,5% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 5.870 h

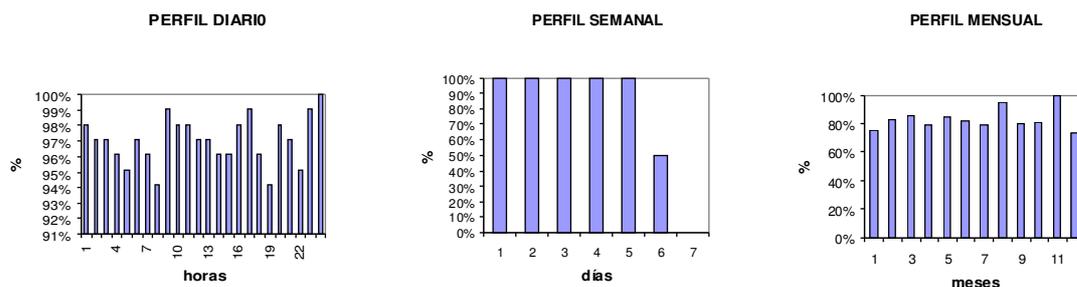
## E. Sector industrial. Subsector minerales no metálicos (cerámica, vidrio, cemento)

### E.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: 6.673 ktep
- Consumos por combustibles año 2004: 5.583 ktep
  - Gas natural 3.191 ktep
  - Productos petrolíferos 2.202 ktep
  - Carbón 190 ktep
- Demanda de calor útil: 4.832 ktep (56.160 GWh)
  - Gas natural 2.809 ktep
  - Productos petrolíferos 1.871 ktep
  - Carbón 152 ktep

### E.2. Programa de trabajo

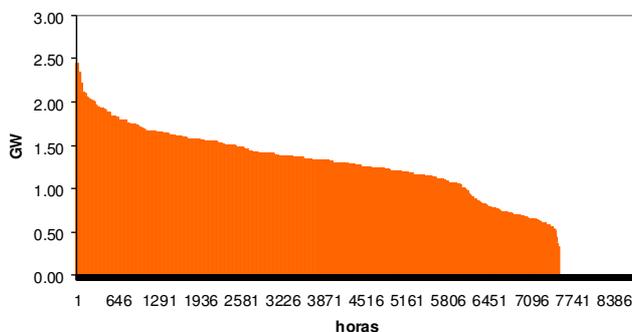
Producción las 24 horas del día de lunes a sábado. El programa diario es variable debido a la fabricación de distintos productos en la misma fábrica con diferentes consumos de secado. En el programa semanal el sábado se efectúa un menor consumo por el trabajo a un solo turno. El programa mensual no presenta variaciones significativas. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



### E.3. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 0,18

Potencial de calor útil: 9.804 GWh/año.



El consumo de calor útil no es constante por el perfil de trabajo diario y mensual que presentan variabilidad.

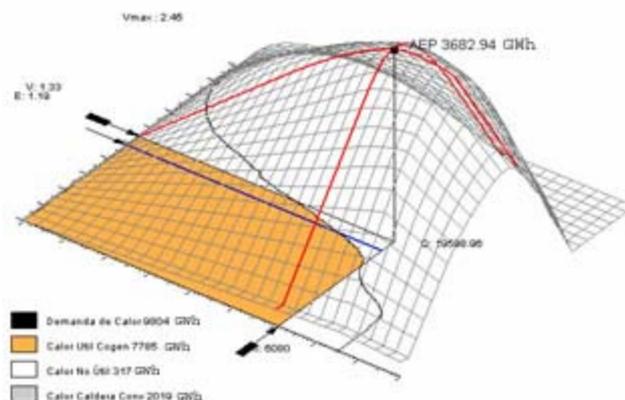
### E.4. Tecnologías de cogeneración

Presencia significativa de motores y turbinas de gas.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 37%
- Rendimiento global: 77%

### E.5. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: 1.185 MWe
- Calor útil asociado: 7.786 GWh (79,4% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.080 h

### F. Sector industrial. Resto industria

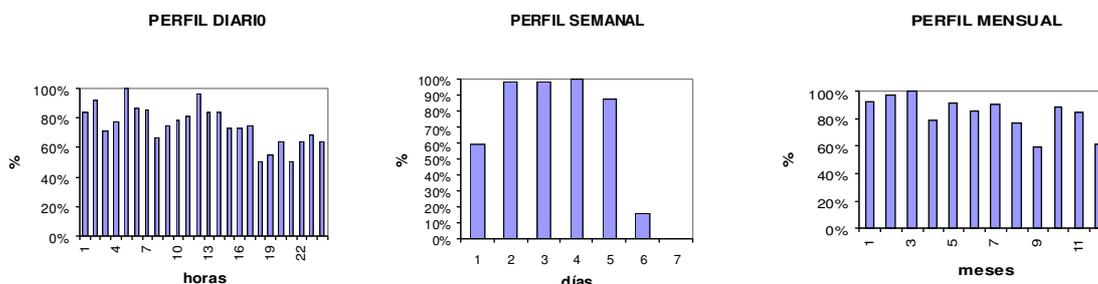
Este apartado incluye las industrias extractivas no energéticas, siderurgia y fundición, metalurgia no férrea, transformados metálicos, equipos de transporte, construcción, madera, corcho, muebles y otras.

### F.1. Energía consumida

- Consumo final año 2004: 10.734 ktep
- Consumos por combustibles año 2004: 5.659 ktep
  - Gas natural 2.121 ktep
  - Productos petrolíferos 1.390 ktep
  - Carbón 2.148 ktep
- Demanda de calor útil: 4.766 ktep (55.391 GWh)
  - Gas natural 1.867 ktep
  - Productos petrolíferos 1.181 ktep
  - Carbón 1.718 ktep

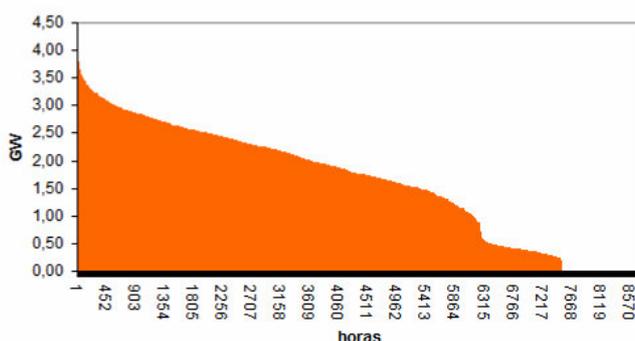
### F.2. Programa de trabajo

Producción las 24 horas del día de lunes a sábado. Programa diario no uniforme y programa semanal con el sábado a un solo turno de trabajo y el lunes con comienzo a las 6h. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



### F.3. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: 0,25  
 Potencial de calor útil: 13.991 GWh/año.



El consumo de calor útil es decreciente existiendo unas 6.300 h con demanda significativa de calor.

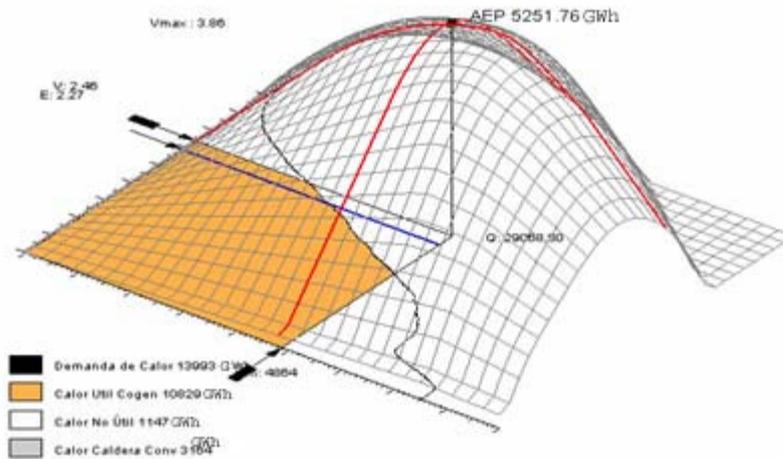
### F.4. Tecnologías de cogeneración

Presencia mayoritaria de motores de combustión y ciclos combinados.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 38%
- Rendimiento global: 77%

### F.5. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 2.270 MWe**
- **Calor útil asociado: 10.829 GWh (77,4% del total)**
- **Horas anuales de funcionamiento: 4.648 h**

### G. Bioetanol

Como respuesta a las crisis del petróleo de 1973 y 1978, las políticas energéticas de los años 80 favorecieron la búsqueda de alternativas a la dependencia de los combustibles fósiles, especialmente en EE UU y Brasil. La percepción actual es que los biocarburantes no podrán sustituir totalmente a los combustibles fósiles, pero sí complementarlos en forma de diferentes mezclas con el fin de reducir la dependencia respecto del petróleo, a diferencia de otras alternativas que son excluyentes (por ejemplo, los gases licuados del petróleo) y necesitan cierta duplicación del sistema motor. En el mismo sentido, los biocarburantes pueden utilizar la misma red logística de distribución que los combustibles fósiles. Todos estos motivos, junto con los objetivos españoles en materia de biocarburantes, muestran el sector del bioetanol como creciente en los próximos años.

#### G.1. Programa de trabajo

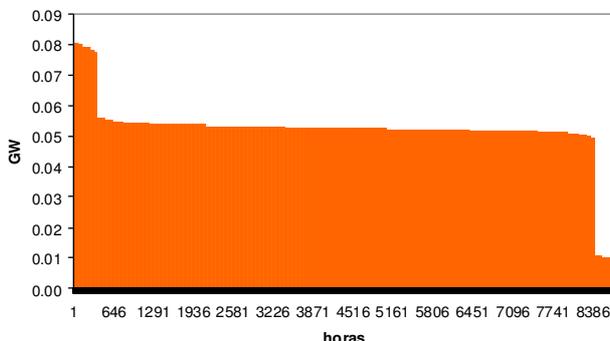
Producción las 24 horas del día de lunes a domingo. Programa diario prácticamente uniforme y perfil mensual con producción reducida los meses estivales. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



## G.2. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 870 GWh/año.



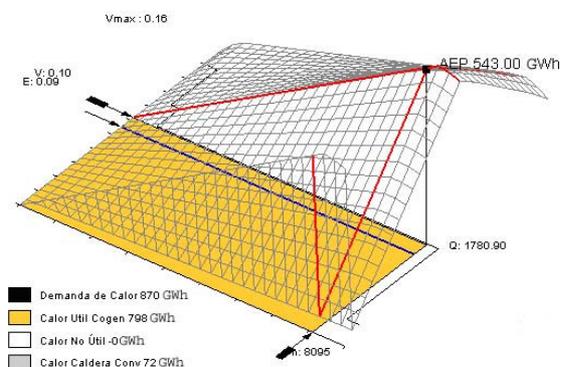
## G.3. Tecnologías de cogeneración

Actualmente en este sector únicamente se verifican turbinas de gas en ciclo simple.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 40%
- Rendimiento global: 85%

## G.4. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: 88 MWe
- Calor útil asociado: 798 GWh (91% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 8.095 h

## H. Refino de petróleo

La industria del refinado del petróleo es consumidora intensiva de energía, tanto en forma de combustible directamente aplicado en los numerosos hornos y calderas que la integran, como en forma de energía eléctrica, utilizada esencialmente para accionamiento de motores y en menor medida en el alumbrado de las plantas. Una peculiaridad de esta actividad reside en que la materia prima y los combustibles son prácticamente indistinguibles, por lo que esta actividad se incluye dentro del sector transformador de la energía con un tratamiento diferenciado.

En España, la capacidad instalada en 2004 de refinería asciende a 1.290.000 bdp (64,5 millones de toneladas anuales). Según los planes de ampliación de las distintas empresas esta capacidad se verá incrementada.

### H.1. Programa de trabajo

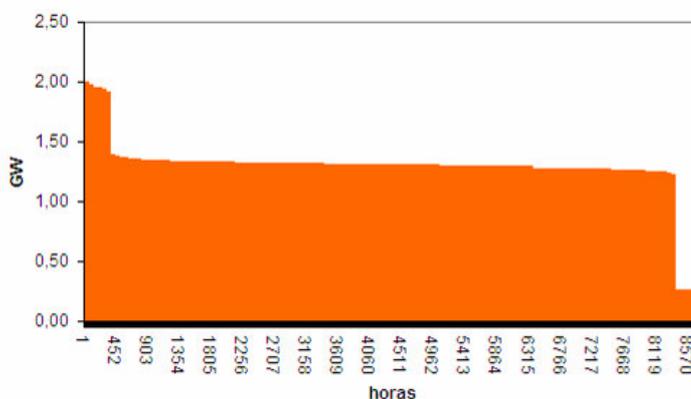
Producción las 24 horas del día de lunes a domingo. Programa diario y perfil mensual prácticamente uniformes. En las siguientes figuras se representan los perfiles tipo más comunes.



### H.2. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 0,96

Potencial de calor útil: 11.280 GWh/año.



El consumo de calor útil es muy constante debido a un programa de trabajo diario extenso y uniforme las 24 horas del día a lo largo de todo el año.

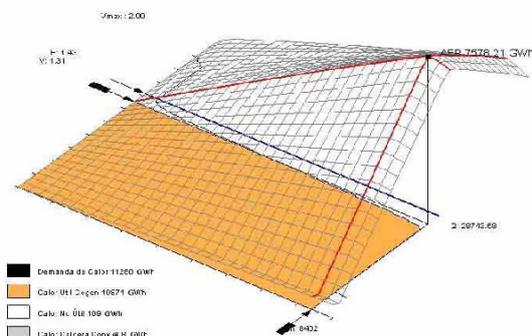
### H.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia significativa de turbinas de gas, ciclos combinados y turbinas de vapor.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 40%
- Rendimiento global: 85%

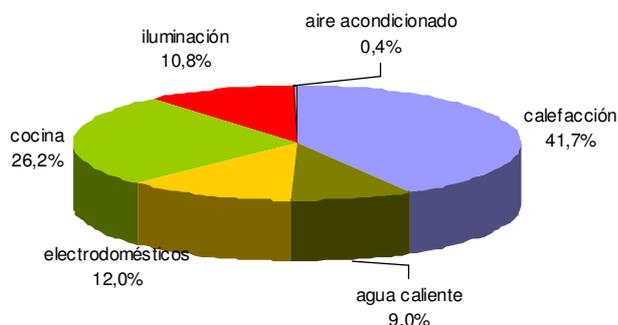
#### H.4. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 1.430 MWe**
- **Calor útil asociado: 10.870 GWh (96% del total)**
- **Horas anuales de funcionamiento: 8.402 h**

#### I. Sector terciario. Actividades domésticas

En el año 2004 el consumo de energía final en el sector residencial ascendió a 16.287 ktep (16,8% del total nacional), con la distribución indicada en la siguiente figura:



No obstante, atendiendo a los usos únicamente tres tipos de consumos pueden ser atendidos mediante calor de cogeneración. Estos consumos son los siguientes:

- Calefacción
- Agua caliente
- Aire acondicionado

Dichos consumos suponen el 51,1% del total de energía final en el sector residencial en el año 2004.

De los usos de energía final del sector residencial que podrían ser cogenerados, el aire acondicionado tiene un uso casi despreciable frente al de calefacción y agua caliente.

En cuanto a las características técnicas del calor, toda la demanda térmica puede considerarse calor cogenerable al ser de bajo perfil de temperatura; sin embargo, la larga vida de los edificios y sus instalaciones fijas así como sus relativamente pequeños consumos considerados individualmente, hace que la rentabilidad económica de las medidas técnicas dirigidas al ahorro en los edificios existentes sea baja y difícil su implantación. En la siguiente tabla se indica la previsión de la demanda de gas natural en el sector doméstico según la Planificación de Infraestructuras del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio:

Año	2005	2007	2010	2011
Previsión de consumo (GWh/año)	42.372	48.062	56.291	58.905

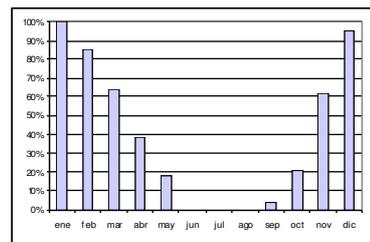
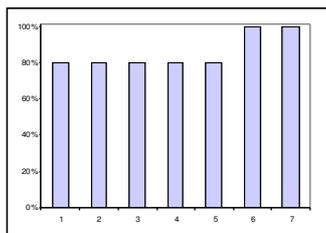
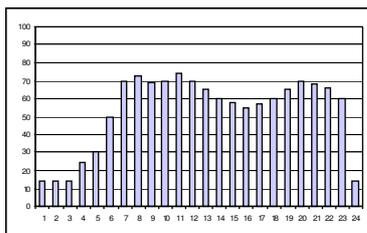
### 1.1. Programa de trabajo

El programa de trabajo de una vivienda se haya ligado en primer lugar a la ocupación de la misma y, en segundo, a la climatología donde se ubica.

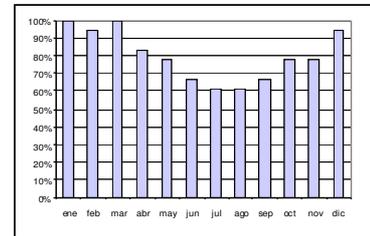
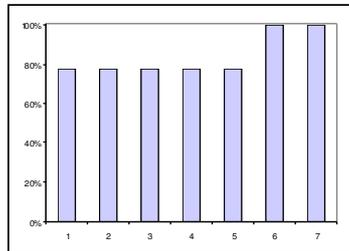
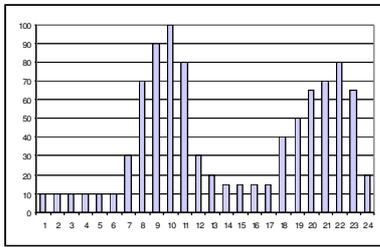
El primer factor determinante, la ocupación que presupone un determinado uso, no se ha sistematizado, ya que daría lugar a figuras erróneas; de este modo debe estudiarse en cada caso si por ejemplo se trata de un núcleo familiar en que todos trabajan, un núcleo monoparental o un núcleo compartido por adultos. Cada una de estas situaciones deriva en distintos programas que condicionan de forma determinante la viabilidad de una cogeneración. En cualquier caso, sí conviene notar que los hábitos sociales en las capitales tienden a programas cada vez más cortos y a concentrar el uso de aparatos consumidores de energía en menos horas, es decir, se tiende a un aumento de la potencia real demandada.

Las gráficas que siguen corresponden al comportamiento de un conjunto de viviendas en una zona de clima continental.

#### Consumo de calefacción:



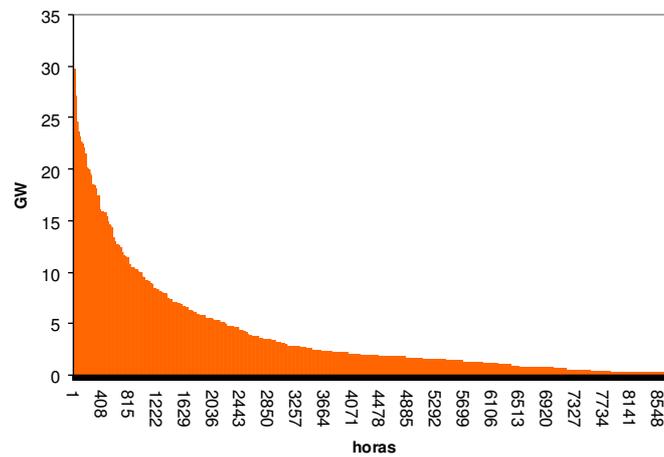
### Consumo de ACS:



### I.2. Demanda de calor útil

Coefficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 34.321 GWh/año.



El consumo de calor útil es decreciente con unas 3.600 horas al año de demanda significativa de calor.

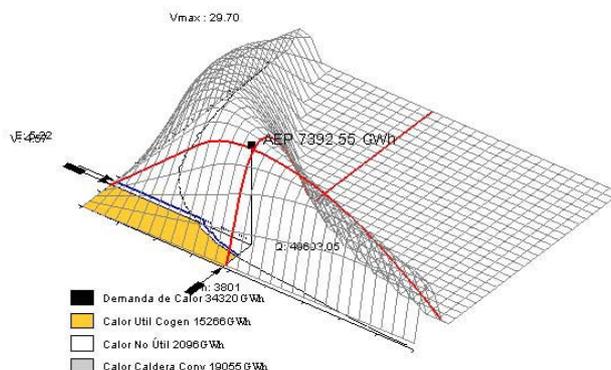
### I.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia casi exclusiva de motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 40%
- Rendimiento global: 75%

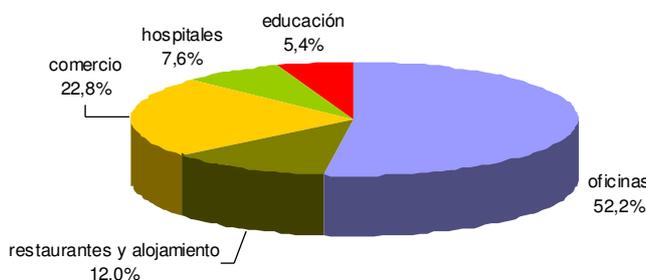
#### I.4. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 5.220 MWe**
- Calor útil asociado: 15.266 GWh (44,4% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 3.801 h

#### J. Sector terciario. Actividades comerciales

En el año 2004 el consumo de energía final en el sector servicios ascendió a 9.340 ktep con la distribución indicada en la siguiente figura:



De la participación indicada se observa que el segmento de oficinas es el mayor consumidor seguido por restaurantes y alojamientos.

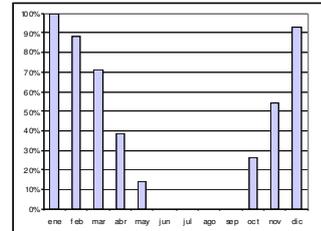
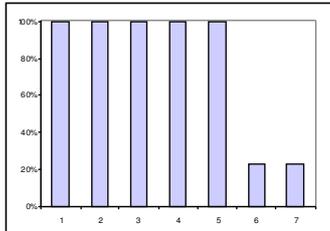
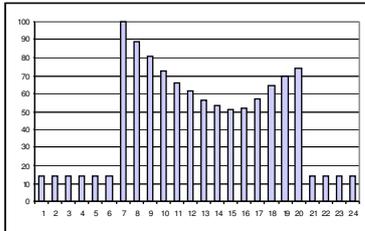
Al igual que ocurre en las actividades domésticas, toda la demanda térmica puede considerarse calor cogenerable al ser de bajo perfil de temperatura; no obstante los relativamente pequeños consumos provoca que la rentabilidad económica de los sistemas de cogeneración sea difícil de lograr. En la siguiente tabla se indica la previsión de la demanda de gas natural en el sector comercial según la Planificación de Infraestructuras del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio:

Año	2005	2007	2010	2011
Previsión de consumo (GWh/año)	12.728	14.438	16.909	17.695

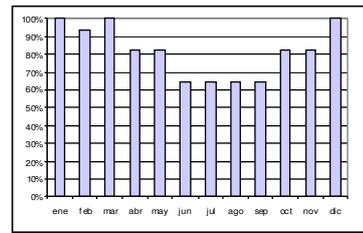
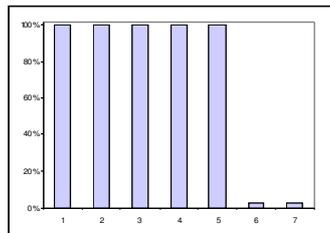
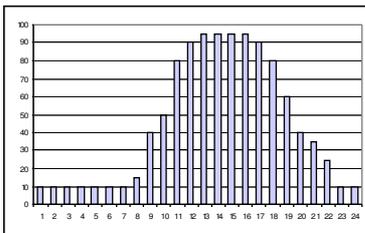
## J.1. Programa de trabajo

Programa de trabajo para oficinas:

### Consumo de calefacción

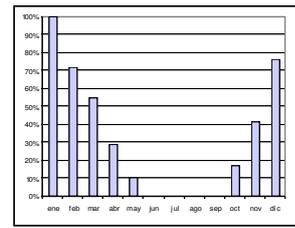
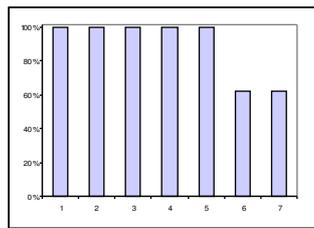
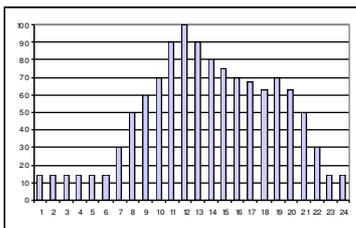


### Consumo de ACS

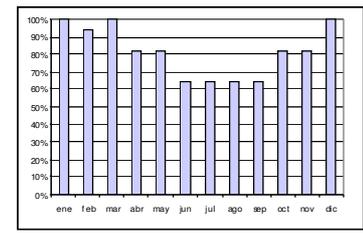
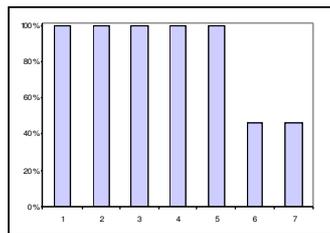
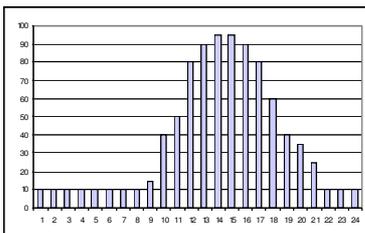


Programa de trabajo para comercios:

### Consumo de calefacción



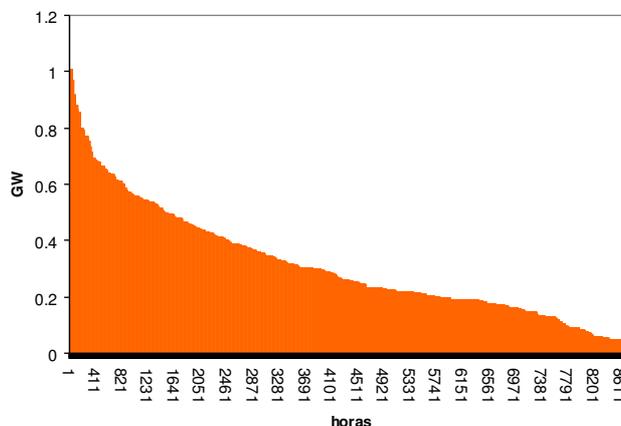
### Consumo de ACS



## J.2. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 10.310 GWh/año.



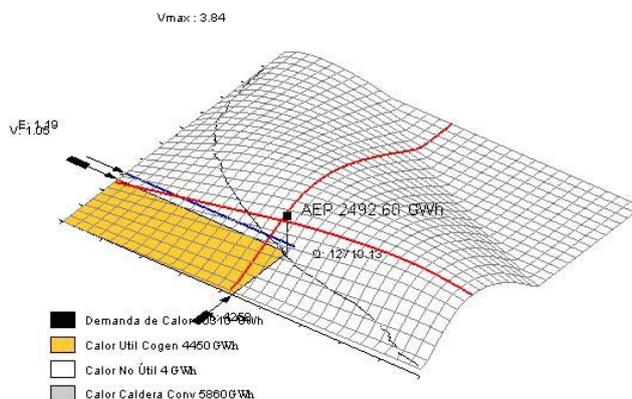
## J.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia casi exclusiva de motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 40%
- Rendimiento global: 75%

## J.4. Diseño del potencial tecnológico



- Potencial tecnológico de alta eficiencia: 1.194 MWe
- Calor útil asociado: 4.450 GWh (43% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 4.258 h

## K. Sector de tratamiento de residuos de porcino

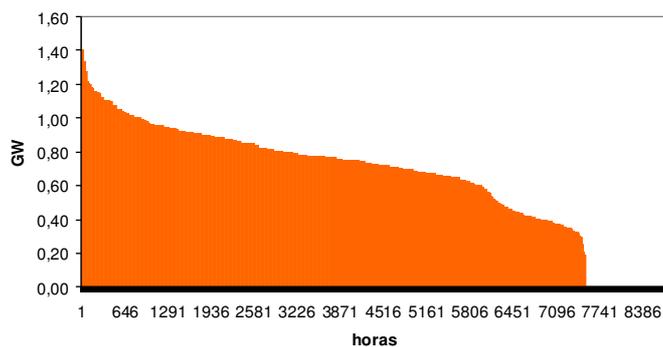
### K.1. Programa de trabajo

El programa de trabajo es continuo y relativamente constante, y es asimilable al del sector denominado materiales no metálicos, puesto que éste consiste básicamente en procesos de secado.

### K.2. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: entre el 86% y el 100%

Potencial de calor útil: 5.616 GWh/año.



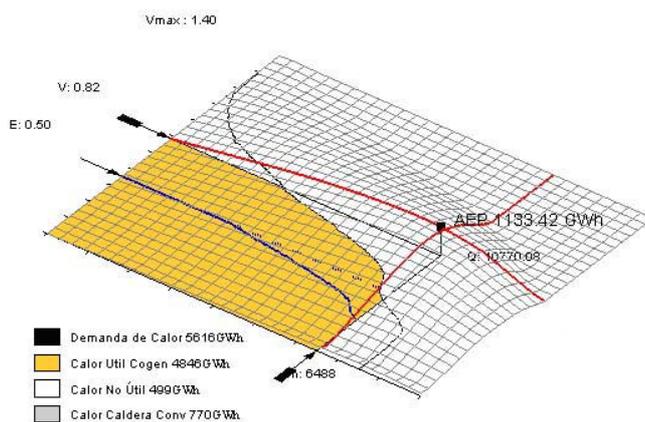
### K.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia exclusiva de motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 30%
- Rendimiento global: 75%

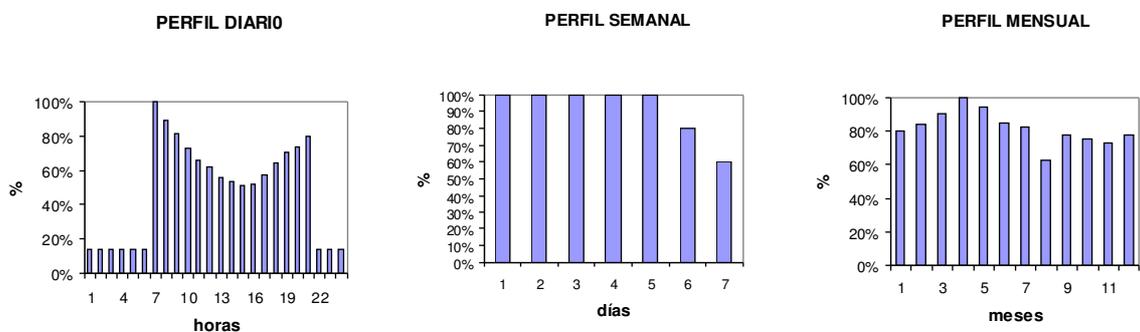
### K.4. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 498 MWe**
- Calor útil asociado: 4.846 GWh (86% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.488 h

## L. Sector de tratamiento de lodos de EDAR

### L.1. Programa de trabajo

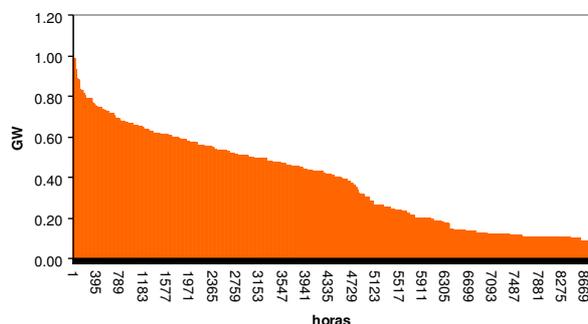


La generación de lodos es mayor en días laborables, por lo que se advierte la disminución de la actividad en los fines de semana. El mes de agosto del mismo modo es un periodo de baja actividad.

### L.2. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: 1

Potencial de calor útil: 3.320 GWh/año.



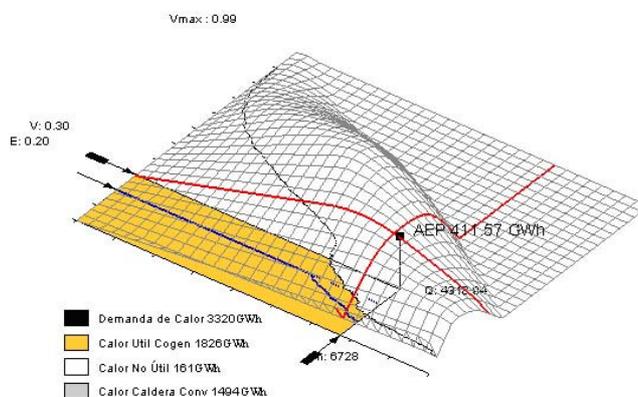
### L.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia de turbinas de gas, de vapor y motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 31%
- Rendimiento global: 77%

## L.4. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 199 MWe**
- Calor útil asociado: 1.826 GWh (55% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.728 h

## M. Sector de tratamiento de residuos de almazara

### M.1. Programa de trabajo

El programa de trabajo de estas instalaciones es continuo y en general empieza con la temporada de recogida de la aceituna, finalizando meses después.

### M.2. Demanda de calor útil

Coeficiente calor cogenerable / calor útil: 0,93

**Potencial de calor útil: 3.011 GWh/año.**

La curva monótona es asimilable a curvas similares de sectores con aplicaciones de secado.

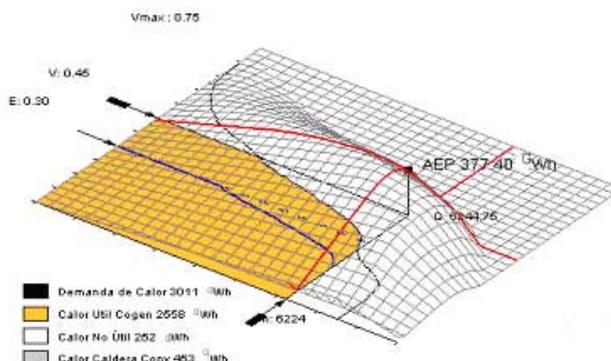
### M.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia de ciclos de secado en base a turbinas de gas.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 30%
- Rendimiento global: 75%

#### M.4. Diseño del potencial tecnológico



- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 301 MWe**
- Calor útil asociado: 2.806 GWh (93% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.224 h

#### N. Sector de biogás de lodos de EDAR

La inclusión de la cogeneración en el sector servicios municipales obedece al hecho de aprovechar el biogás de digestión. En este caso, la cogeneración se considera que presta dos servicios: la producción de electricidad y la valorización del biogás, fuente renovable. Naturalmente, existen posibles aplicaciones para el calor residual de los gases de escape, como por ejemplo la calefacción de los propios digestores anaerobios; sin embargo, la definición de calor útil en este caso se considera económicamente justificable por el hecho de aprovechar un recurso renovable, más que por el uso que pueda hacerse del calor residual.

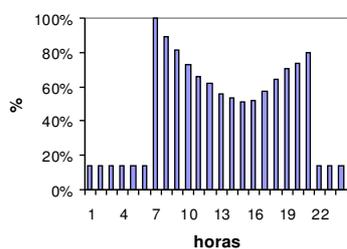
Las aplicaciones de la cogeneración en este sector son:

- Valorización del biogás del tratamiento anaerobio con o sin aplicación del calor al mantenimiento de la temperatura adecuada de los digestores
- Valorización del gas de vertedero con o sin aplicación del calor de los gases de escape al secado del concentrado resultante de las plantas de tratamiento de lixiviados

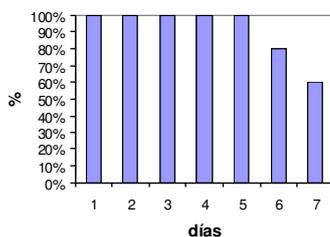
##### N.1. Programa de trabajo

El programa es continuo todo el año sin interrupciones. Según la ubicación de la depuradora la generación de lodos es mayor en días laborables (caso de depuradoras urbanas) o en fines de semana (caso de depuradoras en pequeñas localidades donde hay un gran número de segundas residencias). En este estudio se ha tenido en cuenta un programa de trabajo que refleja la cercanía de un polígono industrial, una cierta disminución de la actividad en los fines de semana, así como una disminución de la actividad en el mes de agosto.

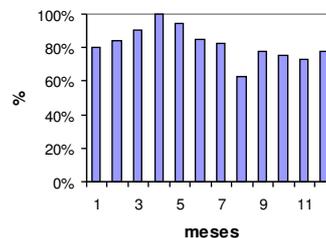
**PERFIL DIARIO**



**PERFIL SEMANAL**

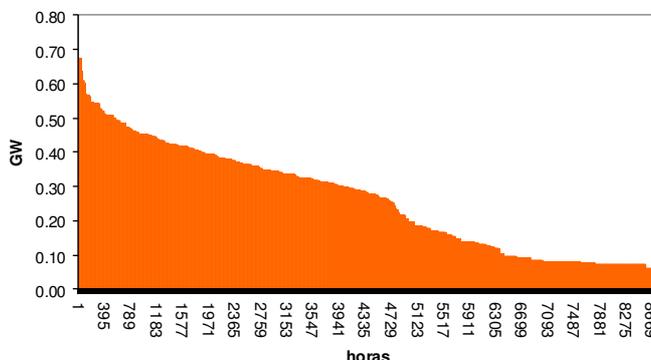


**PERFIL MENSUAL**



## N.2. Demanda de calor útil

Potencial de calor útil: 2.264 GWh/año.



## N.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia exclusiva de motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 28%
- Rendimiento global: 60%

## N.4. Diseño del potencial tecnológico

El potencial tecnológico de este sector corresponde a la totalidad de su potencial de calor útil, ya que la instalación de gasómetros (es decir sistemas de acumulación de biogás) permite que los equipos generadores (motores/microturbinas) funcionen a plena carga aunque no todas las horas del año. Efectivamente, sólo cuando exista cierta capacidad almacenada de biogás se arrancará la planta. De otro modo, en periodos de baja producción de biogás, la planta permanecerá parada mientras éste se va acumulando.

- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 294 MWe**
- Calor útil asociado: 2.264 GWh (100% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.728 h

## O. Sector de biogás de residuos de vacuno

Todos los residuos animales y agrícolas tienen como tratamiento mejor o más eficiente la digestión anaerobia. Mediante este proceso, se degrada aproximadamente el 70% de la materia orgánica volátil, produciendo un biogás que tiene la posibilidad de ser valorizado, ya que cubre las necesidades energéticas del proceso de digestión y permite aún aplicar el biogás sobrante a otros

usos de proceso. La valorización del biogás resultante de los procesos de digestión anaerobia de residuos agrícolas y ganaderos constituye pues un importante potencial de combustible renovable.

El uso de este biogás se considera útil en su totalidad ya que existen numerosas aplicaciones en explotaciones de vacuno que requieren energía térmica y frigorífica: sistema de limpieza con agua a 70°C en granjas de vacas lecheras, atemperación de agua de abrevaderos en zonas frías, mantenimiento de la leche a 4°C hasta su posterior procesado (aplicaciones de absorción).

#### O.1. Programa de trabajo

El programa es continuo todo el año, sin interrupciones. La modulación varía ligeramente en función de los ciclos de ganado y de la climatología.

#### O.2. Demanda de calor útil

**Potencial de calor útil: 5.870 GWh/año.**

La curva monótona de producción de biogás es similar a la del sector de lodos de EDAR.

#### O.3. Tecnologías de cogeneración

Presencia exclusiva de motores de combustión interna.

Caracterización del sistema de cogeneración en función del mix tecnológico:

- Rendimiento eléctrico: 28%
- Rendimiento global: 60%

#### O.4. Diseño del potencial tecnológico

Al igual que en el sector de biogás de lodos de EDAR, el potencial tecnológico de este sector corresponde a la totalidad de su potencial de calor útil. Esto es debido a que igualmente se instalan gasómetros como sistemas de acumulación de biogás.

- **Potencial tecnológico de alta eficiencia: 792 MWe**
- Calor útil asociado: 5.870 GWh (100% del total)
- Horas anuales de funcionamiento: 6.488 h

## **ANEXO II. Descripción tecnológica de sistemas de cogeneración**

La Directiva de Cogeneración indica en su Anexo IV que el estudio de potencial de cogeneración debe indicar las tecnologías de cogeneración que probablemente se vayan a emplear para lograr el potencial. Las tecnologías citadas son las siguientes:

- A. Turbina de gas de ciclo combinado con recuperación de calor.
- B. Turbina de contrapresión sin condensación.
- C. Turbina con extracción de vapor de condensación.
- D. Turbina de gas con recuperación de calor.
- E. Motor de combustión interna.
- F. Microturbinas.
- G. Motores Stirling.
- H. Pilas de combustible.
- I. Motores de vapor.
- J. Ciclos Rankine con fluido orgánico.
- K. Otras.

La configuración de las plantas de cogeneración debe hacerse, en cada caso, en función de las características del centro usuario de calor útil, y de las características de este calor, especialmente su nivel de temperatura de uso y su modulación. Asimismo, los diferentes motores principales que pueden adoptarse (turbinas de vapor, de gas y motores alternativos) determinan diferentes procesos.

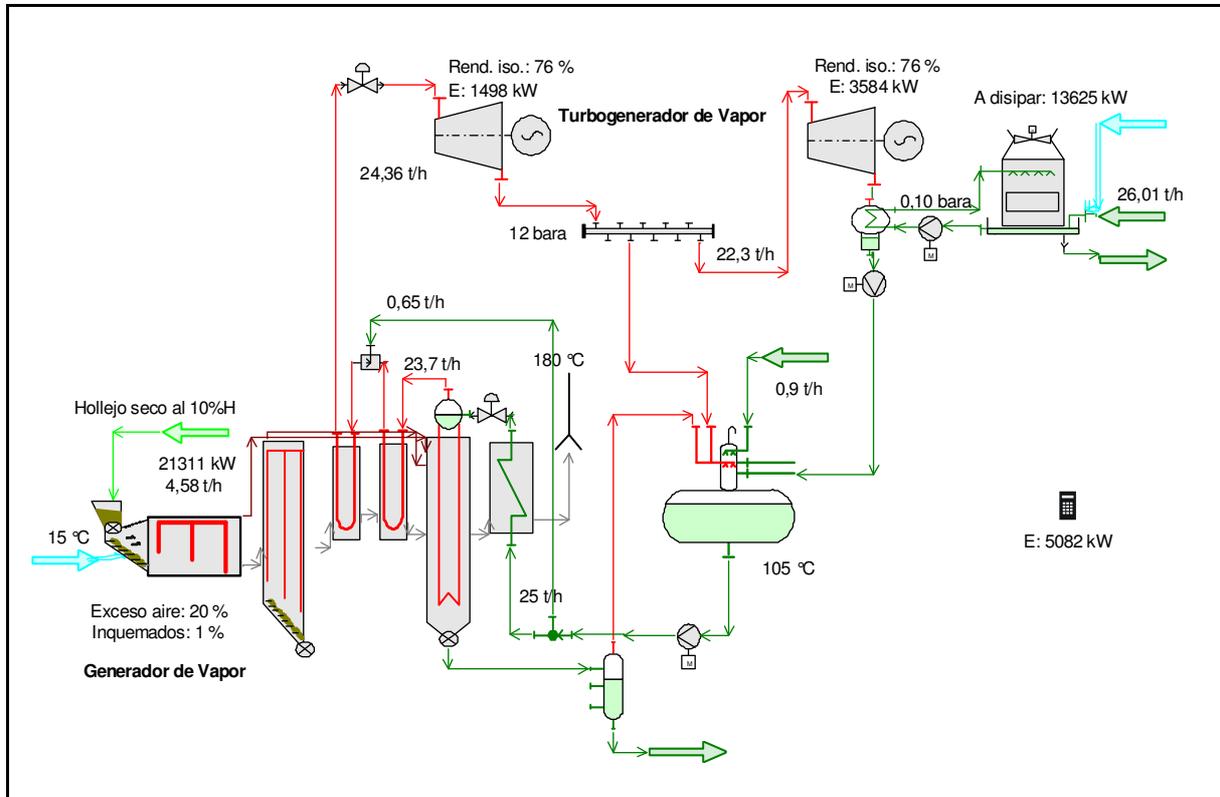
Este anexo describe los ciclos productivos que emplean las tecnologías listadas anteriormente que se emplearán en el desarrollo de la cogeneración en España. Por otro lado, se incluyen comentarios sobre el tipo de aplicación más frecuente a que corresponde cada tecnología.

### **1. Ciclo simple con turbina de vapor (CSTV). Letras B, C y J.**

Es el ciclo más conocido y empleado, aunque hoy en día no se considera como un sistema de cogeneración moderno, ya que su producción de electricidad es muy limitada. Lo anterior es muy representativo hasta el punto que un número importante de industrias papeleras, que ya disponían de este ciclo, han instalado turbinas de gas convirtiéndolo así en un ciclo combinado.

En la actualidad, este ciclo sólo se emplea en sistemas de incineración de residuos para su eliminación y en las antiguas centrales de fuel/gas del sistema eléctrico. Su eficiencia eléctrica es muy limitada (20-25% para residuos y hasta un 40% en grandes centrales) y su aplicación sólo es eficaz en combustibles de muy bajo precio. En la actualidad es el proceso usado en plantas de eliminación de residuos agrícolas y RSU.

La descripción del proceso se realiza en la siguiente figura para una planta de biomasa agrícola.

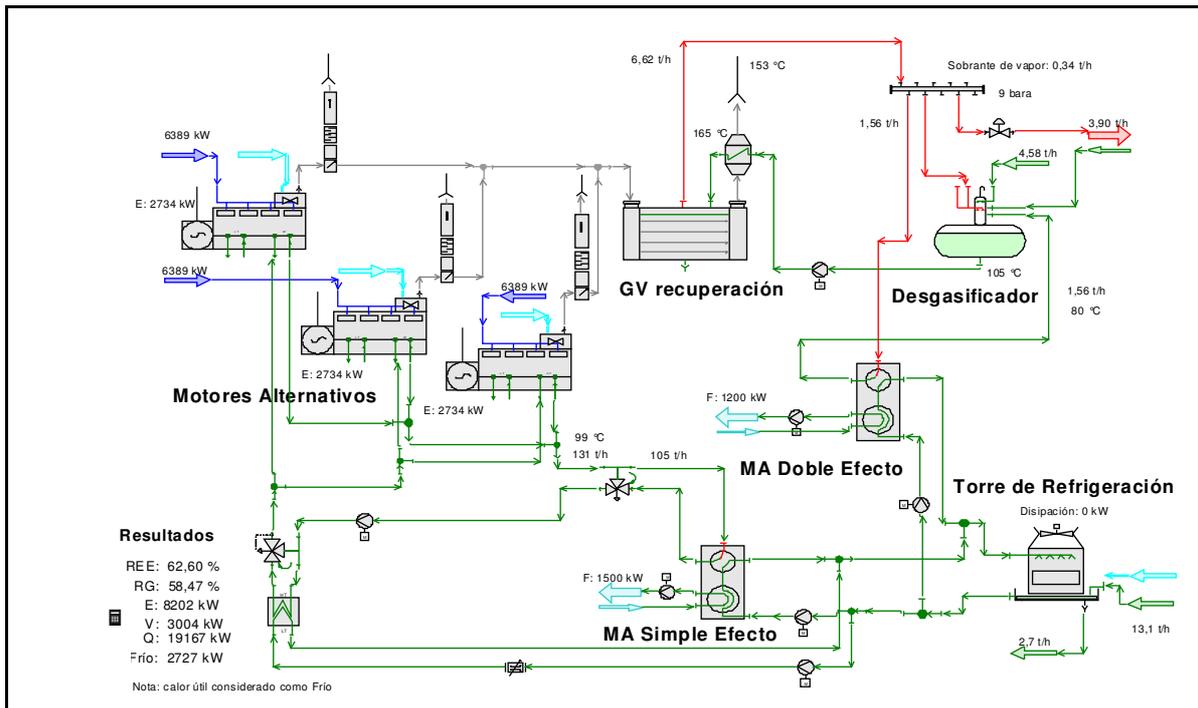


Del mismo modo es un sistema aplicable a los ciclos ORC de fluido orgánico. La diferencia principal radica en que la entrega de calor al proceso no se realiza con el vapor saliente de la turbina, instalando un intercambiador para realizar dicho aporte de calor.

## 2. Ciclo simple con motores alternativos (CSMG, CSMF) y ciclos de trigeneración. Letra E

Su aplicación más común se da en la industria textil, el sector terciario (calefacción) y algunas plantas del sector de la alimentación. Últimamente se aplican a plantas de secado de lodos y eliminación de purines.

Su campo de aplicación más idóneo supone un rango en potencia eléctrica desde 1 hasta 10 MW, aunque se han realizado plantas de hasta 25 MW con motores de fuel-oil utilizando únicamente el calor de los gases de escape, lo que les permiten obtener, como máximo, rendimientos eléctricos equivalentes del 55-56%.



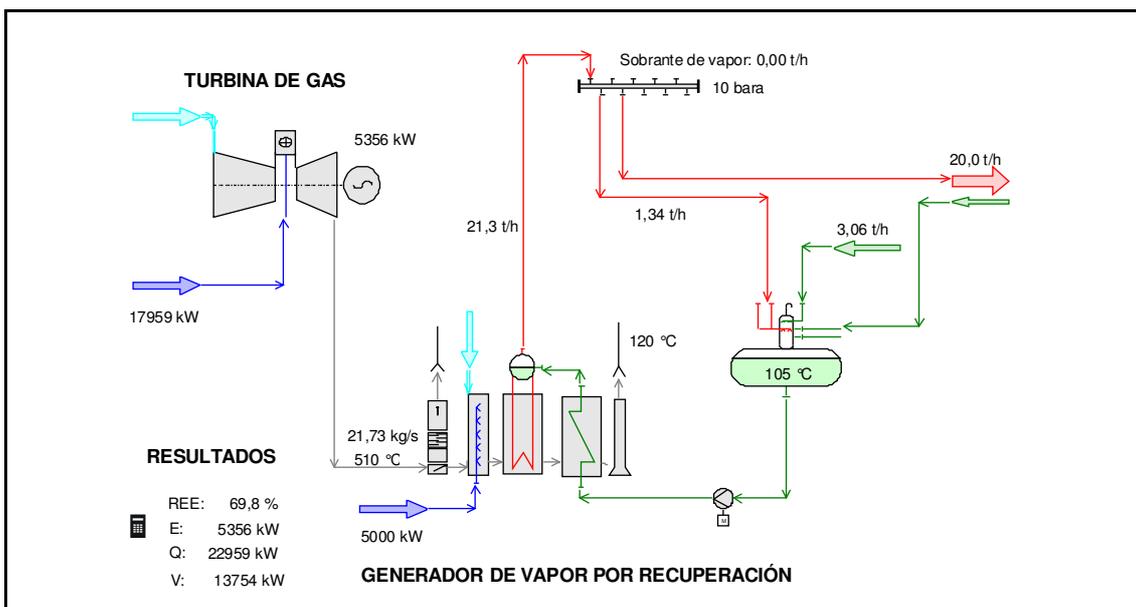
Algunas plantas de motores alternativos aprovechan el agua caliente para generar frío en máquinas de absorción. Estos procesos de trigeneración, si bien mejoran el REE, implican inversiones superiores en aproximadamente un 15%.

### 3. Ciclo simple con turbinas de gas (CSTG). Letra D

Son adecuadas a partir de demandas de calor en forma de vapor o gases calientes a partir de 7 - 8 MW de demanda (10 t/h de vapor), con su rango de aplicación desde 4 MW hasta más de 50 MW de potencia eléctrica instalada.

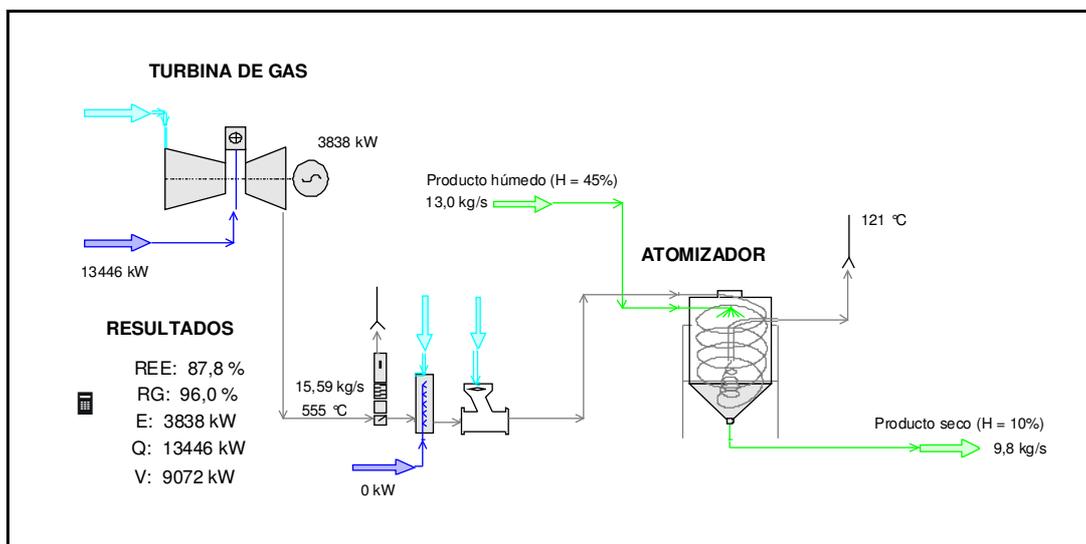
Es el ciclo más usual para instalaciones medianas en consumidores con demanda de vapor y su regulación suele hacerse mediante un sistema de postcombustión que permite ajustar la producción de vapor a su demanda.

La siguiente figura explica el proceso de una planta de este tipo de unos 5 MW.



Las turbinas de gas tienen la gran ventaja de aportar el calor en forma de gases a unos 500°C perfectamente aptos para procesos de secado de productos no alimentarios. Por ello, el ciclo de secado con turbina de gas se ha desarrollado ampliamente en la industria cerámica de gres (procesos de atomización de arcillas). Su instalación es simple y más económica que en los procesos en que debe producirse vapor, obteniéndose grandes rendimientos eléctricos equivalentes si se ajusta la turbina a las necesidades de calor de secado.

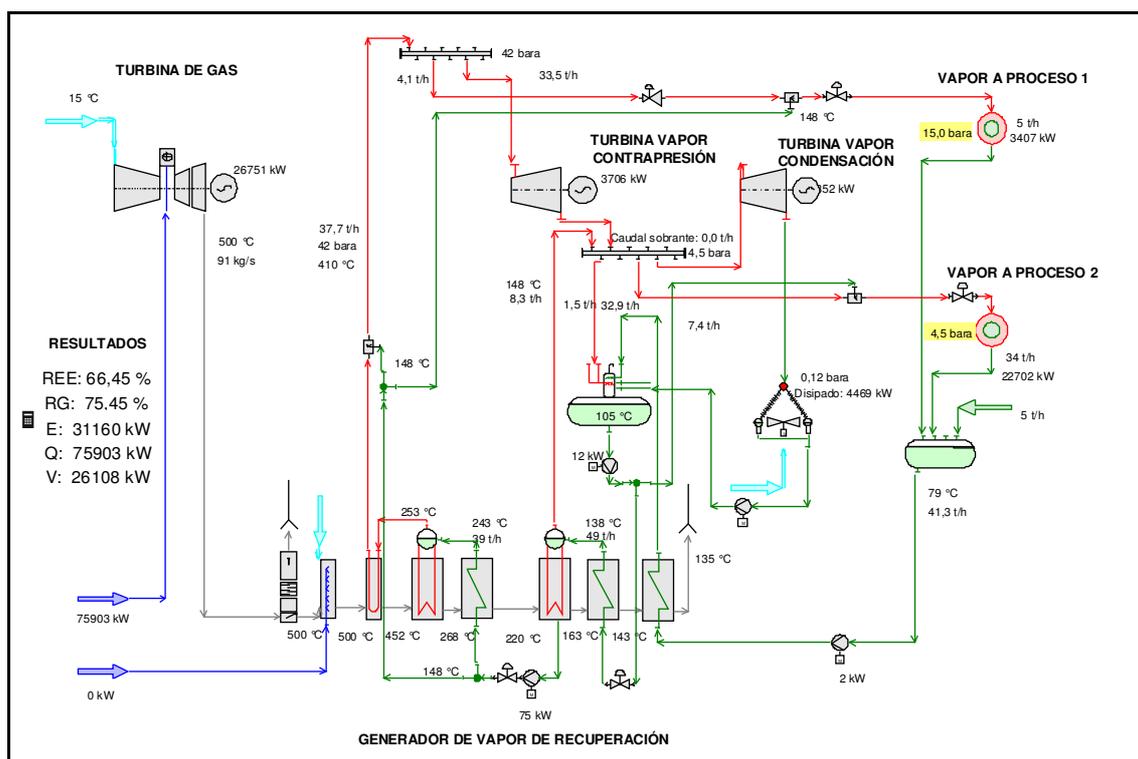
La siguiente figura describe un ciclo simple de secado con turbina de gas y atomizador.



#### 4. Ciclo combinado con turbina de gas a contrapresión (CCTG). Letra A

Es una extensión del ciclo simple con la diferencia que genera vapor a alta presión para poder incluir una turbina de vapor a contrapresión y permitir aumentar la electricidad producida a igualdad de calor de proceso. Su REE se incrementa con respecto al ciclo simple aunque su rendimiento global es sensiblemente constante. Puede aplicarse a





## 6. Microturbinas y motor Stirling. Letra F

Al tratarse de componentes de pequeña potencia no acostumbran a adaptarse a las demandas de la industria y su uso se restringe en gran medida al sector servicios (hoteles, gimnasios, ...) e incluso para casas particulares aisladas. El calor aprovechado es, normalmente, en forma de ACS y calefacción.

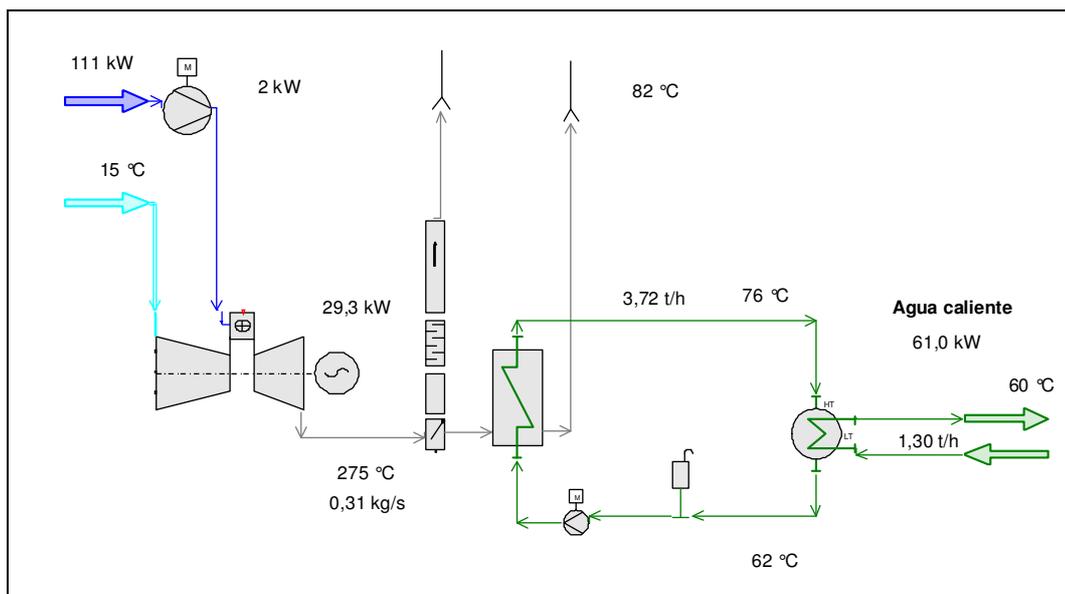
Las microturbinas engloban todas aquellas turbinas de gas con una potencia inferior a 1 MW. En esencia el comportamiento es igual que para turbinas de mayor tamaño, pero su tamaño obliga a cambiar el diseño de las partes principales para mejorar el rendimiento y trabajan a un régimen de giro más elevado.

Habitualmente las microturbinas aprovechan parte del calor de los gases de escape para precalentar el aire que tiene que entrar en la sala de combustión, son denominadas entonces microturbinas de recuperación.

En el caso de las microturbinas, se están empezando a usar para el aprovechamiento del biogás de EDAR's y plantas de tratamiento de purines ya que su poca producción de biogás no justifica instalar equipos de mayor tamaño. En la figura siguiente se representa la aplicación de un sistema de microturbina en la azotea de un hotel.



A continuación se presenta el diagrama de flujo de una microturbina.

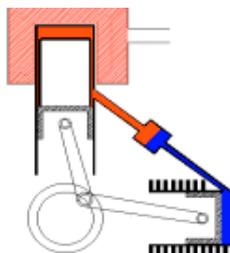


Los motores Stirling son motores alternativos de combustión externa y de ciclo cerrado. A diferencia de los motores alternativos de combustión interna, el fluido motor no es el combustible y comburente, sino un gas (helio o hidrógeno) confinado en un recinto hermético. Uno o dos pistones y un desplazador obligan al fluido gas a pasar por todos los puntos del ciclo hasta llegar a cerrarlo, desplazándolo entre una zona fría y una caliente. Habitualmente se coloca un regenerador entre las dos zonas para recuperar parte del calor y mejorar el rendimiento del ciclo.

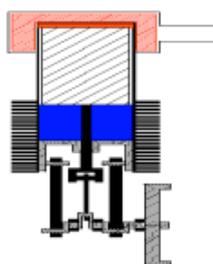
El proceso consta de una compresión isoterma a la temperatura más fría, un proceso isocoro de aumento de temperatura y presión, posteriormente una expansión isotérmica y se cierra el ciclo con un proceso isocoro de descenso de temperatura y presión. Teóricamente, los movimientos de pistón y desplazador son discontinuos, lo cual es imposible desde el punto de vista dinámico. En la realidad se utiliza un conjunto biela-manivela, que aproxima los movimientos de las partes.

Los principales tipos de motor Stirling son los tipo alfa, beta y gamma.

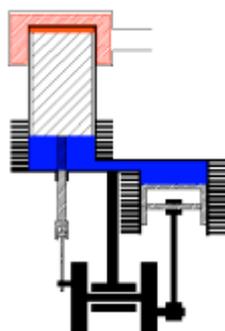
- **Motores tipo alfa:** consta de dos cilindros independientes, sin desplazador, con dos pistones desfasados 90°. Uno de los cilindros se calienta mediante mechero de gas o alcohol y el otro se enfría mediante aletas o agua. El siguiente esquema corresponde a este tipo de motor:



- **Motores tipo beta:** es el motor original de Stirling. Consta de un cilindro con una zona caliente y otra fría. En el interior del cilindro está el desplazador. Los motores pequeños no suelen llevar regenerador y existe una holgura de algunas décimas de milímetro entre el desplazador y el cilindro para permitir el paso del gas. Este tipo se indica gráficamente en el siguiente esquema:



- **Motores tipo gamma:** está derivado del beta con mayor sencillez de construcción. Consta de dos cilindros separados, en uno de los cuales se sitúa el desplazador y en el otro el pistón de potencia. El siguiente esquema ilustra este último tipo:



## 7. Pilas de combustible. Letra H

---

Una pila de combustible puede definirse como un dispositivo electroquímico que transforma directamente y, lo que es más importante, de forma continuada, la energía química almacenada por un combustible en energía eléctrica. Su principio de funcionamiento es inverso al de una electrólisis.

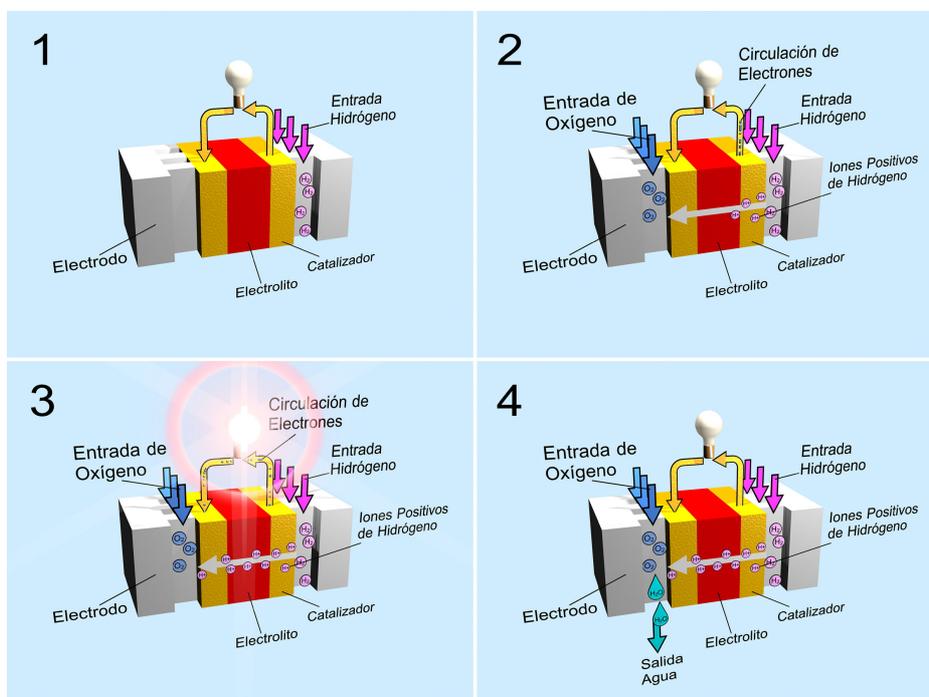
No son máquinas térmicas, y por lo tanto no está limitado por el ciclo de Carnot, pudiendo alcanzar rendimientos muy cercanos al 100%. Únicamente las limitaciones en el aprovechamiento de la energía generada y en los materiales empleados en su construcción impiden alcanzar este valor.

Las pilas de combustible están constituidas por un conjunto de celdas apiladas, cada una de las cuales posee un ánodo o electrodo negativo y un cátodo o electrodo positivo, separados por un electrolito que facilita la transferencia iónica entre los electrodos.

Cada una de las sustancias que participan en la reacción es alimentada a un electrodo distinto. Así, el combustible, generalmente rico en hidrógeno, es alimentado de forma continua al ánodo, y el oxidante, normalmente el oxígeno del aire, al cátodo. Allí los reactivos se transforman electroquímicamente. En el caso de las pilas de combustible que funcionan con hidrógeno lo hacen de acuerdo con las semireacciones:

- Ánodo:  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
- Cátodo:  $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
- Reacción Global:  $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

La siguiente figura ilustra el proceso de generación de electricidad en una pila de combustible:



En una pila de combustible se genera una corriente eléctrica entre ambos electrodos que, a diferencia de lo que ocurre en una pila o batería convencional, no se agota con el tiempo de funcionamiento, sino que se prolonga mientras continúe el suministro de los reactivos.

Hay diferentes formas de obtención del hidrógeno; reformado con vapor (steam reforming), oxidación parcial de combustibles fósiles con defecto de oxígeno, electrólisis del agua, gasificación de biomasa, pirólisis, membranas de intercambio iónico o de electrolito polimérico sólido y producción fotobiológica. No obstante, se comercializan pilas de combustible que ya incorporan el sistema de conversión del gas combustible (gas natural por ejemplo) en hidrógeno y subproductos.

La unidad fundamental, llamada también celda, no es suficiente para aplicaciones prácticas, uniéndose varias de ellas para conseguir la potencia y tensión adecuadas, formando de esta manera una única pila de combustible. Las celdas están unidas eléctricamente en serie. Cada cierto número de celdas unitarias se inserta un dispositivo que permite extraer el calor generado por la reacción electroquímica, manteniendo de esta forma la temperatura dentro de los márgenes óptimos para cada tipo de celda. El calor extraído a través del circuito interno de refrigeración es recogido mediante una serie de intercambiadores que lo entregan a un circuito externo, produciéndose en el mismo agua caliente o vapor, dependiendo de la temperatura de funcionamiento de la pila. La energía térmica así obtenida puede emplearse como tal, o bien utilizarse en la generación de una cantidad adicional de energía eléctrica, aumentando así el rendimiento del sistema.

La corriente continua proporcionada por la pila debe ser transformada en corriente alterna apta para el consumo, con una especial atención a los parámetros eléctricos (voltaje, frecuencia, armónicos, etc.) de la red. La parte eléctrica encargada de esta transformación recibe el nombre de sistema de acondicionamiento de energía, y su componente más importante es el inversor, que transforma la corriente continua producida por la pila en corriente alterna.

Hay varias formas de clasificar los tipos de Pilas de Combustible, pero la más corriente es por el tipo de electrolito que utilizan, que es el que ha dado lugar a su denominación. Según este criterio tendremos Pilas de Combustible que operan a diferentes temperaturas, que necesitan mayor o menor pureza del hidrógeno suministrado y que, en definitiva, son más o menos adecuadas para ciertas aplicaciones. La siguiente tabla recoge diferentes tecnologías de pilas de combustible.

Tipo	Electrolito	Temperatura de operación (°C)	Usos	Ventajas	Desventajas
<b>Membrana polimérica (PEMFC)</b>	Polímero sólido	60 - 100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación estacionaria</li> <li>• Ordenadores portátiles</li> <li>• Vehículos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrolito sólido que reduce corrosión y mantenimiento</li> <li>• Baja temperatura</li> <li>• Arranque rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalizador costoso</li> <li>• Sensible a impurezas en hidrógeno u otro combustible</li> </ul>
<b>Alcalina (AFC)</b>	Solución acuosa de hidróxido de potasio	90 - 100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio</li> <li>• Aplicaciones militares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacción catódica más rápida en electrolito alcalino</li> <li>• Mayor eficiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensible a impurezas</li> </ul>
<b>Acido fosfórico (PAFC)</b>	Acido fosfórico líquido	175 - 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación estacionaria</li> <li>• Ordenadores portátiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 85 % eficiencia en cogeneración de electricidad y calor</li> <li>• Acepta hidrógeno impuro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catalizador de Pt</li> <li>• Baja corriente y potencia</li> <li>• Gran peso y volumen</li> </ul>
<b>Carbonatos fundidos (MFCF)</b>	Solución líquida de litio, sodio y potasio	600 - 1.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación estacionaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia</li> <li>• Catalizador barato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión debido a altas temperaturas</li> <li>• Baja vida útil</li> </ul>
<b>Óxidos sólidos (SOFC)</b>	Oxido de Zr sólido con adiciones de litio	600 - 1.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación estacionaria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia</li> <li>• Catalizador barato</li> <li>• Electrolito sólido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión debido a altas temperaturas</li> <li>• Baja vida útil</li> </ul>

Las pilas de combustible más interesantes para tecnologías de cogeneración son las que trabajan a más alta temperatura. Utilizando el calor se pueden llegar a rendimientos globales del 90%. Estas instalaciones aprovechan el calor de refrigeración para el proceso industrial, por lo que resulta interesante su uso cuando la pila de combustible funciona a alta temperatura. El calor puede ser utilizado en sus diversas formas (agua caliente, vapor, aire caliente o aceite térmico).