



gasNatural   
fenosa

manual de eficiencia energética





# manual de eficiencia energética

Obra realizada por:



[www.eoi.es](http://www.eoi.es)

Con la colaboración del Centro de Eficiencia Energética de:



[www.empresaeficiente.com](http://www.empresaeficiente.com)

[www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)



## p r ó l o g o

La eficiencia energética se sitúa en el centro de los tres ejes de la política energética mundial:

- La garantía de suministro, particularmente relevante en España, que importa casi el 80% de su energía primaria.
- La competitividad, que recobra mayor importancia en el escenario económico y financiero actual.
- La sostenibilidad, con sus implicaciones sobre el cambio climático.

Según la Agencia Internacional de la Energía, en el escenario tendencial el consumo energético se incrementaría un 50% en los próximos 25 años, lo que provocaría un mayor aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo al cuarto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado a finales del 2007, este escenario tendencial nos llevaría a un incremento de las temperaturas de más de 6 °C a finales de este siglo.

La necesidad de un cambio en la tendencia actual pasa, sin duda, por un uso responsable de la energía que pueda regular esta evolución ascendente de consumo.

Por ello, en Gas Natural Fenosa creemos que la eficiencia energética es nuestro primer ejercicio de responsabilidad social. Así lo entendemos porque su práctica está directamente relacionada con el sector de la energía en el que Gas Natural Fenosa desarrolla su actividad. Esta conexión proporciona legitimidad social al ejercicio empresarial al considerar la contribución al bien común del producto y el servicio que gestionamos.

Gas Natural Fenosa está comprometido en construir una nueva cultura en el uso de la energía por parte del consumidor. Llevar la eficiencia energética a los clientes implica compartir con ellos nuestra visión, integrar sus preocupaciones y necesidades en las soluciones posibles y contribuir colectivamente al uso racional de los recursos disponibles.

El cliente actúa como un agente multiplicador de los avances que coseche la eficiencia energética, en su doble vertiente, como vector de competitividad e instrumento de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La eficiencia energética, cuya bandera enarbola Gas Natural Fenosa desde hace seis años, es el arma más poderosa e inmediata para controlar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Está ahí, a nuestro lado; sólo tenemos que practicarla. Es la "pequeña ayuda" de Gas Natural Fenosa para construir "un mundo mejor" y más responsable.

Centro de Eficiencia Energética  
**Gas Natural Fenosa**

í n d i c e



**01**

Introducción

pág. 8



**05**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en el Sector Servicios

pág. 102



**02**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en el Hogar

pág. 36



**06**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en Urbanismo y Edificación

pág. 122



**03**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en la Industria I

pág. 62



**07**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en el Transporte. Biocombustibles

pág. 146



**04**

Eficiencia y Ahorro Energético  
en la Industria II

pág. 84



**08**

Energías Renovables: Eólica

pág. 170



**09**

Energías Renovables: Solar

pág. 192



**13**

Innovación Tecnológica

pág. 298



**10**

Energías Renovables: Cogeneración,  
Biomasa

pág. 220



**11**

Energías Renovables: Geotérmica  
y Minihidráulica

pág. 248



**12**

Generación de Energía Eléctrica

pág. 270







## 01 | Introducción

## 1. Introducción

¿Cuáles son las fuentes de energía?, ¿dónde se encuentran?, ¿quién las controla?, ¿qué es el cambio climático, ¿y el Protocolo de Kioto?, ¿cómo evitar los cada vez más frecuentes desastres medioambientales?, ¿energías renovables, energía nuclear, hidrógeno, vehículos eléctricos...?, ¿y si no fuera necesario complicarnos tanto?, ¿y si fuera suficiente con que cada uno nos esforzáramos un poco, comprometiéndonos realmente, por un consumo responsable y eficiente?... Éstas junto con otras muchas más son las cuestiones que se van a tratar en este primer capítulo del Manual de Eficiencia Energética.

En los últimos tiempos la energía se ha convertido en un asunto de interés nacional, al igual que de fútbol y de política, todo el mundo opina. Y no es para menos, ya que asuntos como el precio del petróleo, el cambio climático y la eficiencia y ahorro energético nos afectan de manera muy directa a todos, tanto en lo macroeconómico (factura energética, balanza exterior, competitividad,...) como en lo microeconómico (precios de los combustibles, factura eléctrica, desarreglos climáticos...).

No pasa un solo día sin que encontremos noticias en los medios de comunicación referentes al sector energético (movimientos empresariales, el futuro de las energías renovables, crisis políticas entre países,...). Al igual que ha sucedido en la última década en el sector financiero, por el que gran parte de los ciudadanos se han interesado (tratando de aprender para obtener la máxima rentabilidad de su capital), ahora le toca el turno al sector energético. Todos deberíamos poseer unos conocimientos básicos de este sector que nos posibiliten la comprensión de las noticias que leemos y escuchamos y, así, la repercusión que pueden tener sobre nuestras finanzas y, principalmente, sobre nuestras vidas.

En cuanto al contenido del capítulo, en los primeros apartados se verán cuáles son las principales fuentes de energía, en qué regiones del mundo se encuentran, qué países las consumen,...

En el quinto apartado, se verá qué es el cambio climático, los gases de efecto invernadero, la capa de ozono y la lluvia ácida.

En el sexto se hablará del Protocolo de Kioto (qué es, qué países lo han ratificado, cuál es su utilidad, su futuro,...).

En los siguientes apartados se hablará de energías renovables y de la eficiencia y ahorro energéticos. A estos dos asuntos se dedican los seis siguientes capítulos del Manual.

Por último, se presentan unas direcciones de Internet para los que se encuentran interesados en ampliar conocimientos.

### 1.1. Energía y fuentes de energía

Antes de entrar en materia, es importante aclarar la diferencia entre energía, fuente de energía, y forma de energía.

Una fuente de energía no es más que un depósito de ésta. En algunos casos es necesario transformarla para poder extraer la energía y en otros no. En función de la fase de transformación en la que se encuentren las fuentes de energía se clasifican como:

- **Primarias.** Son aquellas que encuentran directamente en la naturaleza y no han sido sometidas a ningún proceso de transformación. Algunas requieren de procesos de transformación previos a su consumo (carbón, petróleo, gas natural, uranio) y otras no (sol, viento, agua embalsada, madera). En función de su disponibilidad en la naturaleza (cantidad limitada o inagotables), se pueden clasificar entre no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y las renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa), respectivamente. Las primeras constituyen el 94% del consumo mundial de fuentes de energía primaria. Es importante reseñar que, excepto en el caso del mineral de uranio, todas tienen un mismo origen: el Sol<sup>1</sup>.
- **Secundarias.** Se denominan también vectores energéticos. Su misión es transportar y/o almacenar la energía, pero no se consumen directamente. El más importante es la energía eléctrica, a la que muchos expertos (organismos nacionales e internacionales) denominan también electricidad primaria. A partir de ella se obtiene energía mecánica y térmica. Otros vectores son el uranio enriquecido (materia prima para las centrales nucleares) y los carbones, una vez se han preparado para su explotación en las centrales térmicas.

<sup>1</sup> Exceptuando el caso del mineral de uranio, el origen del resto de las fuentes de energía radica en el Sol. Si consideramos que la vida (animal y vegetal) existe sobre la Tierra gracias a la acción del Sol, tenemos que el carbón, el gas y el petróleo (obtenidos por sedimentación durante millones de años de restos animales y vegetales) provienen del Sol, e igualmente pasa con la biomasa (madera y residuos vegetales) y el biogás (procedente de restos orgánicos animales). Por otro lado, el viento se produce como consecuencia de una diferencia de temperatura entre las distintas capas de la atmósfera, y el agua dulce proviene de la evaporación por efecto del Sol de la marina.

Existen otros mecanismos para obtener energía además del Sol que se encuentran en fase de investigación y desarrollo. Son los siguientes: la acción gravitatoria de la Luna sobre la Tierra da lugar a las mareas (el movimiento de estas masas de agua se puede aprovechar para obtener energía), el calor existente en las capas interiores de la Tierra (esa energía térmica se puede utilizar directa o indirectamente para nuestro provecho), algunas reacciones nucleares exotérmicas (ya se explota comercialmente la fisión de los átomos de uranio y desde hace años se investiga la fusión de los átomos de hidrógeno),...

- **Finales.** Son las que consumimos cada día en viviendas, industrias y transportes. Las principales son los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleos, keroseno, butano, propano,...), el gas natural y la energía eléctrica. A partir de ellas se extrae la energía en sus tres formas posibles: Energía luminosa, mecánica y térmica. Cada una de éstas, a su vez, es susceptible de convertirse en cualquiera de las otras dos<sup>2</sup>.

Esta clasificación varía sensiblemente según las fuentes, por lo que para lo que resta de capítulo, especialmente para el análisis de las imágenes, se recomienda fijarse en cada caso en la leyenda correspondiente.

Cada fuente de energía tiene diferente contenido energético (energía por unidad de masa). Aunque es necesario tener en cuenta otros aspectos (principalmente costes, de localización, extracción, transformación,...), en principio cuanto mayor sea el contenido energético de una fuente, más rentable será su explotación. Las fuentes con mayor contenido energético son las de origen fósil (carbón, petróleo, gas natural) y el mineral de uranio.

Las fuentes de energía primaria que han de ser transformadas para obtener las finales pasan por las siguientes etapas: prospección (localización), extracción, transporte hasta los centros de tratamiento, procesado (transformación), transporte hasta los centros de consumo y consumo.

Como sucede en otras ocasiones, no existe la fuente de energía perfecta, todas presentan sus ventajas e inconvenientes. Así por ejemplo, el petróleo tiene muy alto contenido energético, pero su prospección y extracción resultan caras y la combustión de sus derivados emite elementos nocivos. En el lado contrario se encuentra el viento. Esta fuente de energía es renovable, inagotable y de fácil acceso, pero su contenido energético es muy bajo y resulta imposible de almacenar.

Por último, señalaremos que la unidad de medida de energía utilizada habitualmente es la tonelada equivalente de petróleo (tep). Su valor equivale a la energía obtenida en la combustión de una tonelada de petróleo y, por lo tanto, variará en función del tipo de petróleo considerado. La tep se utiliza para hacer comparaciones y medir la calidad energética de los distintos combustibles.

## 1.2. Contexto energético internacional

El contexto energético internacional se va a analizar desde dos puntos de vista: Demanda y oferta.

Por el lado de la oferta de energía el principal factor que se debe analizar es la situación (yacimientos) de las fuentes de energía primaria. Como la población y la riqueza, la mayor parte de las fuentes, especialmente las más demandadas (carbón, gas natural, petróleo) y se encuentran ubicadas en unos pocos países.

Veamos algunos datos referentes al petróleo:

- Se calculan unas reservas probadas equivalentes a  $1.300 \times 10^3$  millones de barriles de petróleo.
- La producción-demanda mundial es de alrededor de 85 millones de barriles/día.
- El horizonte temporal de las reservas probadas de petróleo es de 41 años.
- La capacidad de refino (proceso del que se obtienen sus derivados, que son los que consumimos) instalada es de 83 millones de barriles/día, por lo que raramente no se cubre la demanda.
- El 95% de las reservas probadas de petróleo (1.224,5 miles de millones de barriles) se localizan en tan sólo 20 países. Los 14 primeros son los indicados en la tabla 1.
- El total mundial de reservas probadas es de 1.292,6 miles de millones de barriles de petróleo.
- La mayor parte de esos países se encuentran situados en regiones conflictivas, como Oriente Medio (disponen de casi la tercera parte de las reservas mundiales), Rusia y los países de la antigua URSS y América Latina.

Las principales consecuencias de estos hechos son:

- Posiciones de privilegio y, en ocasiones, abuso de poder por parte de estos países.
- Conflictos internacionales.

<sup>2</sup> "La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma", frase por todos conocida y que corresponde a la 1ª ley de la Termodinámica.

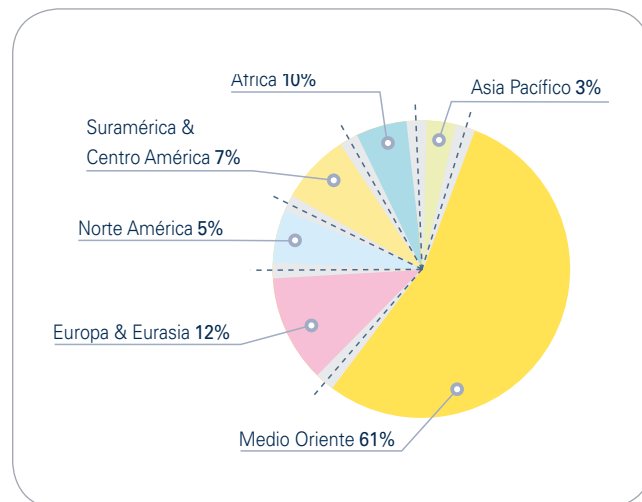
- Inseguridad en el suministro.
- Inestabilidad en los precios, con tendencia a alzas acusadas (en la actualidad el precio del barril de crudo Brent ha superado los 100 US\$).
- La producción-demanda mundial es de alrededor de 85 millones de barriles/día.

**TABLA 1**  
Localización de las reservas probadas de petróleo.

País	Reservas probadas (miles de millones de barriles)
Arabia Saudí	264,3 (21,6%)
Canadá	178,8 (14,6%)
Irán	132,5 (10,8%)
Irak	115,0 (9,4%)
Kuwait	101,5 (8,3%)
Emiratos Árabes	97,8 (8%)
Venezuela	79,7 (6,5%)
Rusia	60,0 (4,9%)
Libia	39,1 (3,2%)
Nigeria	35,9 (2,9%)
EEUU	21,4 (1,7%)
China	18,3 (1,5%)
Qatar	15,2 (1,2%)
Méjico	12,9 (1,1%)
Argelia	11,4 (0,9%)

Fuente: U.S. Energy Information Administration.

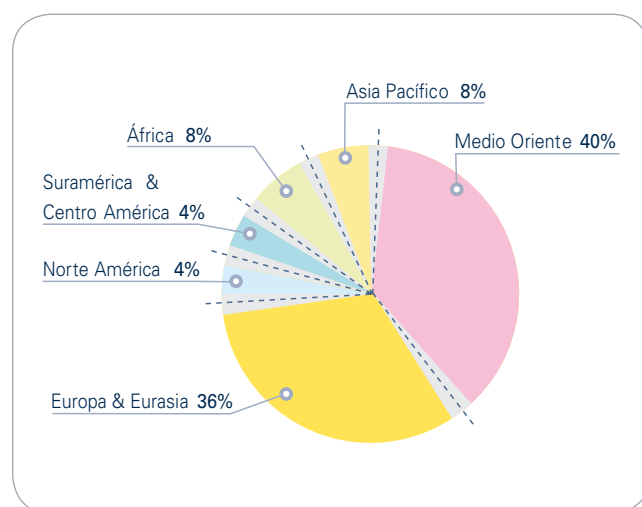
**FIGURA 1**  
Distribución de las reservas mundiales de petróleo en 2005.



Fuente: La empresa energética BP.

En cuanto a las reservas probadas de gas natural, hay que apuntar que su distribución también es heterogénea, pero menos que en el caso del petróleo. La principal diferencia se encuentra en que los países del Oriente Medio “sólo” disponen del 40% de las reservas mundiales, mientras que Rusia es el segundo país del mundo en reservas y el primer productor.

**FIGURA 2**  
Reservas mundiales de gas en 2005.



Fuente: BP.

Por el lado de la demanda de energía, uno de los factores que más influyen sobre el contexto energético internacional, especialmente en el futuro, es la población. Algunos de los aspectos que la caracterizan son:

- Alrededor de 6.100 millones de habitantes.
- Distribución heterogénea. Zonas muy pobladas con otras prácticamente desérticas.
- Pocas zonas de elevada concentración. De cada 100 habitantes, 60 se encuentran en el continente asiático. China y la India acaparan un tercio de la población mundial.
- Según las previsiones de la Unión Europea (UE), en los próximos 50 años la población mundial aumentará en un 50%.
- Se espera que la población mundial alcance en 2030 los 8.100 millones de habitantes.

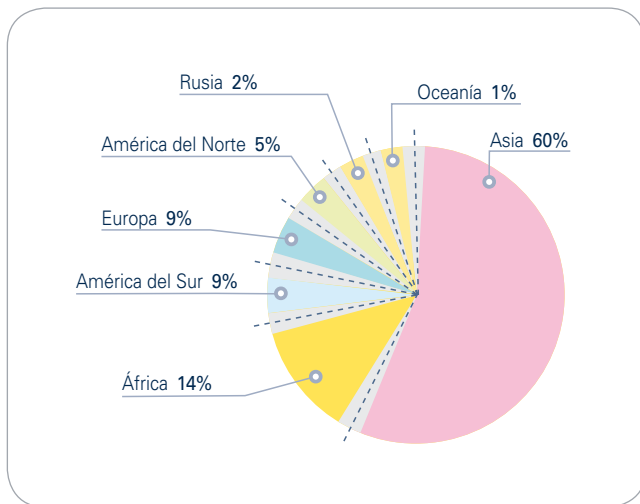
TABLA 2

Previsiones de crecimiento de la población mundial.

Año	Población Mundial
1950	2.535.093
1955	2.770.753
1960	3.031.931
1965	3.342.771
1970	3.698.676
1975	4.076.080
1980	4.451.470
1985	4.855.264
1990	5.294.879
1995	5.719.045
2000	6.124.123
2005	6.514.751
2010	6.906.558
2015	7.295.135
2020	7.667.090
2025	8.010.509
2030	8.317.707
2035	8.587.050
2040	8.823.546
2045	9.025.982
2050	9.191.287

FIGURA 3

Distribución de la población mundial 2003.

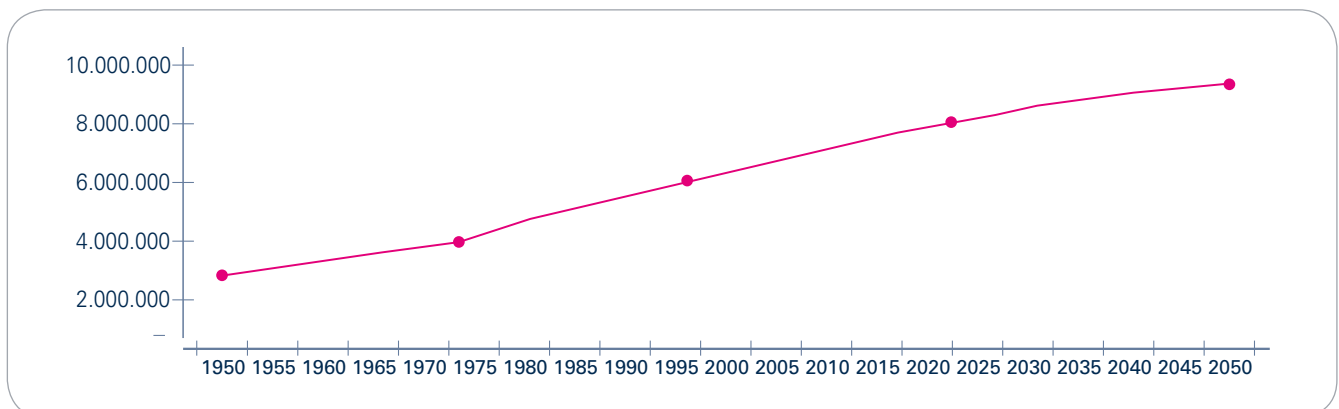


Fuente: International Energy Agency (IEA).

Fuente: EU

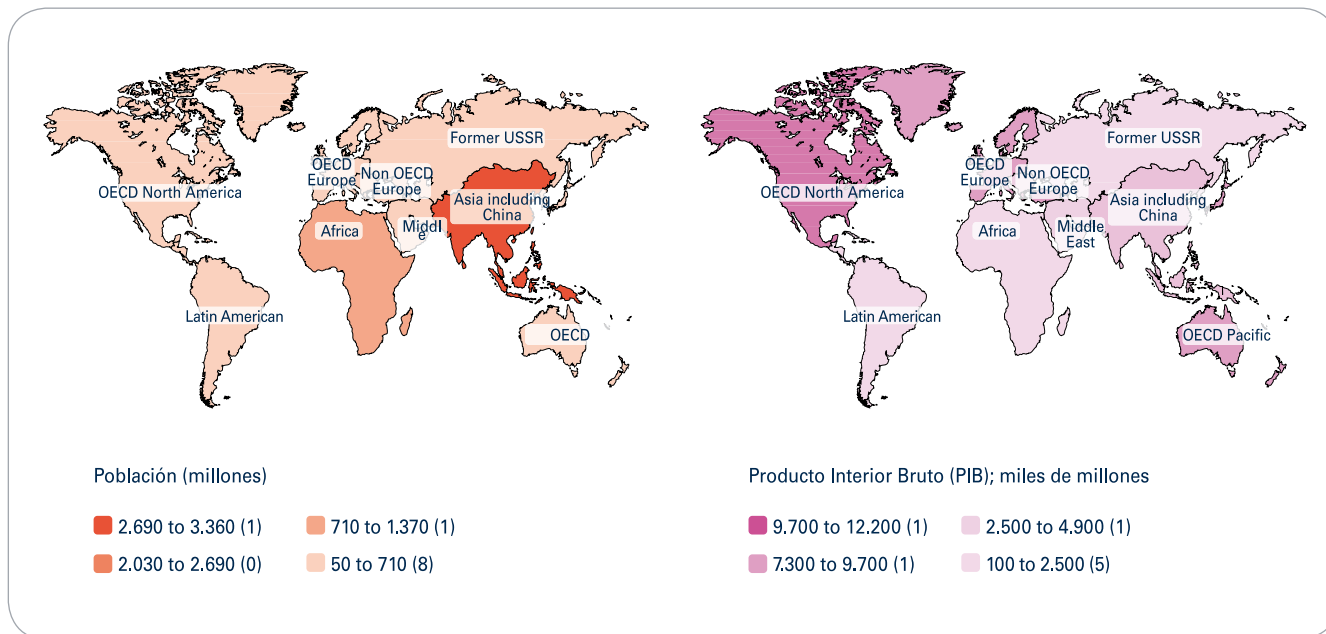
FIGURA 4

Previsiones de crecimiento de la población mundial.



Fuente: European Union (EU).

FIGURA 5  
Previsiones de crecimiento de la población mundial.



Fuente: IEA.

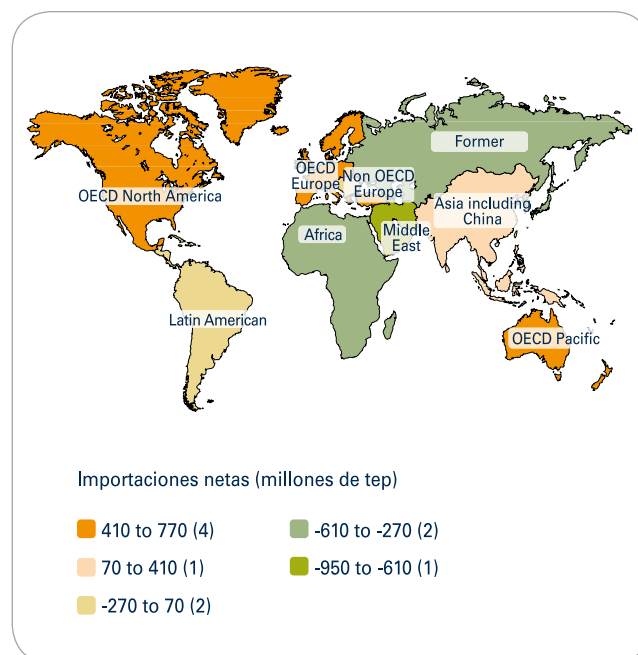
Otro de los factores clave es la riqueza. Al igual que la población, su distribución es muy desigual. En la siguiente imagen puede verse la distribución de la población (en tonos rojos más oscuros los países más poblados) y la de la riqueza [en tonos azules más oscuros los países con mayor Producto Interior Bruto (PIB); índice del nivel de riqueza]. De su análisis pueden extraerse muchas conclusiones, pero las más sobresalientes, aunque conocidas por todos, son el desigual reparto existente y que hay regiones como África y Asia que, siendo de las más pobladas, se encuentran entre las de menor riqueza.

Cuanto mayor es el desarrollo económico y el nivel de vida alcanzado por un país, mayor es su consumo energético. Así, las regiones que más energía consumen en el mundo son Norteamérica, Europa y Australia. Las dos últimas al no disponer de yacimientos, se encuentran también entre las principales importadoras. En este sentido, el caso de Norteamérica, especialmente Estados Unidos, es curioso porque, a pesar de disponer de yacimientos de fuentes de energía primaria (carbón, petróleo y gas natural), prefieren mantener gran cantidad de ellas como reservas e importar una gran parte de lo que necesitan.

En la siguiente imagen se pueden ver las diferentes regiones del mundo por niveles de importaciones energéticas. Además de lo indicado en el anterior párrafo, se observa cómo los países del Oriente Medio se encuentran entre los que menos energía importan (además de no ser grandes consumidores, son los dueños de los mayores yacimientos

petrolíferos del mundo), y cómo China y la India ya en 2006 se encontraban entre los principales importadores. Se espera que para antes de 2010 se conviertan en los mayores del mundo, especialmente China.

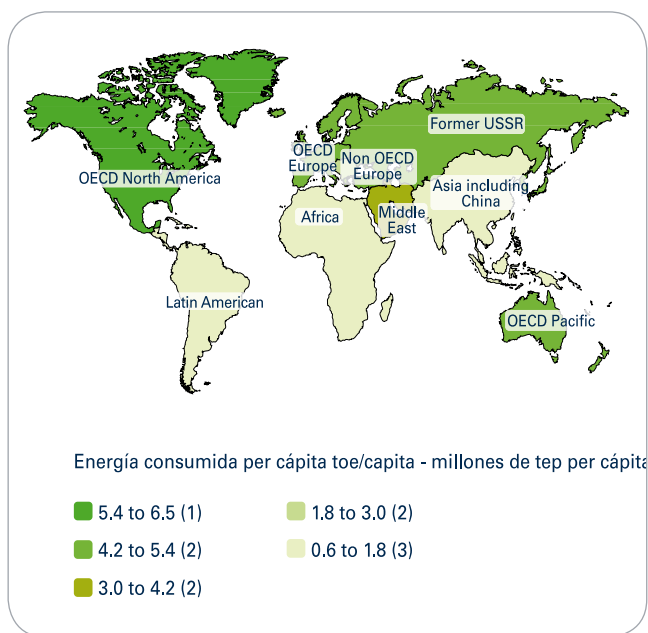
FIGURA 6  
Importaciones de energía en el mundo 2006.



Fuente: IEA.

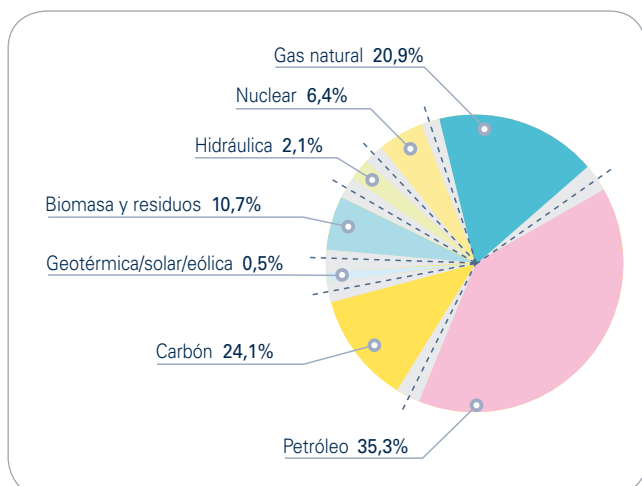
Aunque Estados Unidos, Europa, Australia, China y la India se encuentren entre las regiones con mayor consumo energético del mundo, cuando hablamos de consumo per cápita, Estados Unidos es el número uno. Además de este extremo, en la siguiente imagen puede verse cómo el consumo per cápita (medido en tep) de China y la India es de los más bajos del mundo. Esto se debe a que su población es superior a los 2.000 millones de habitantes.

FIGURA 7  
Energía per cápita consumida en tep 2006.



Fuente: IEA.

FIGURA 8a  
Consumo mundial de energía primaria en 2003 y evolución del mismo entre 1971-2003.



Fuente: IEA.

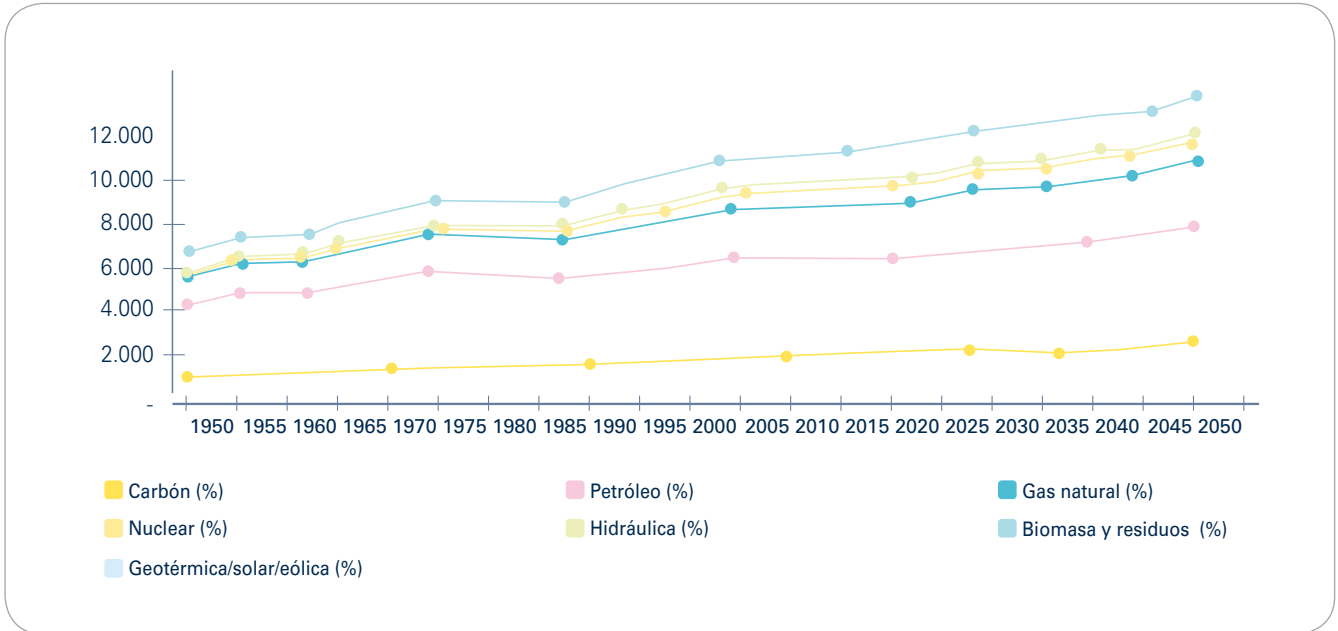
Cabe señalar que Estados Unidos es el mayor emisor de gases de efecto invernadero (GEI) en términos absolutos y per cápita del mundo. Este asunto se tratará con más detalle en el quinto apartado.

Si se analiza el consumo desde el prisma de las fuentes de energía primaria, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El consumo de carbón, petróleo y gas natural (las fuentes en cuya combustión se emite mayor nivel de GEI) representan el 83% del consumo total (dato de 2007) y su peso relativo apenas ha variado en las últimas tres décadas.
- Lo mismo le sucede a la madera y a los residuos (animales y vegetales), cuya cuota no ha variado desde hace más de 30 años, ¡y es de un 10,5%! Esto se debe al consumo de los países menos desarrollados de Asia y África que, al no disponer de recursos económicos, han de recurrir a las fuentes autóctonas.
- El peso de la energía nuclear es bajo (tan sólo los países más desarrollados disponen de centrales nucleares), y el de la eólica y solar es insignificante.
- Al objeto de reducir la dependencia energética de las fuentes como el petróleo y el gas natural, a mediados de los años 70 (crisis del petróleo de 1973), los países más ricos iniciaron el desarrollo de las primeras centrales nucleares.
- Después de una primera etapa de gran desarrollo de proyectos nucleares, desde hace unos 15 años, éste se ha ralentizado mucho (aunque en algunos países aún se construyen centrales, en la mayoría, instados por la opinión pública, se han paralizado).

Un aspecto interesante para analizar es el de las fuentes de energía primaria que consume cada país en función de su nivel de riqueza. Así, los países más pobres no disponen de dinero para importar petróleo ni gas natural, y mucho menos para construir centrales nucleares, por lo que han de recurrir a fuentes autóctonas (generalmente madera, residuos animales y vegetales y, en algunos casos, carbón). En la siguiente imagen se observa cómo en los países más desarrollados el petróleo y gas natural representan casi dos terceras partes del consumo, la nuclear el 6% y la biomasa el 3%. Por el contrario, en los países en desarrollo el petróleo y el gas natural representan el 30%, la nuclear el 1% y la biomasa el 35%. En el caso particular de China, entre un 80% - 90% de la demanda energética es cubierta a partir de centrales térmicas de carbón, con todo lo que éste contamina.

**FIGURA 8b**  
Consumo mundial de energía primaria en 2003 y evolución del mismo entre 1971-2003.

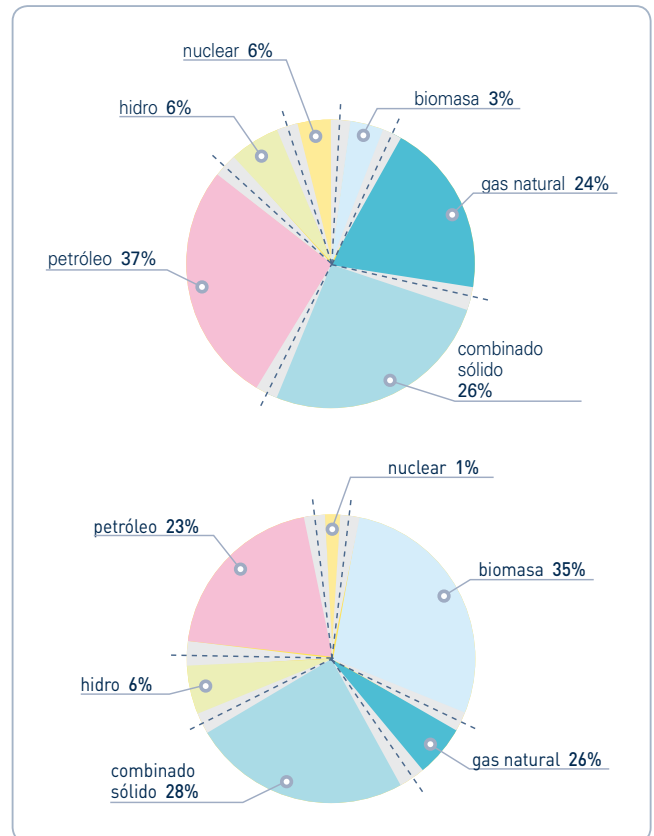


Fuente: IEA.

Por la importancia que tiene en nuestro mundo actual, es interesante repasar brevemente la situación mundial del consumo de energía eléctrica. De la siguiente imagen destaca lo siguiente:

- El carbón (24% del consumo mundial) es la fuente de energía primaria que más se utiliza para producir energía eléctrica (su aportación es del 40% del total).
- Algo parecido les sucede a las fuentes nucleares e hidráulica. Ambas suponen el 8,5% del total del consumo, pero su aportación conjunta a la producción de energía eléctrica es del 35%.
- El caso contrario es el del petróleo: representa más de un tercio del consumo mundial de fuentes de energía primaria y sin embargo apenas se utiliza para la producción de energía eléctrica. El motivo es que hay otras fuentes mejores para ello y por su intensidad energética, el petróleo (sus derivados) se utilizan prioritariamente para obtener energía térmica (calefacción) y mecánica (transporte).
- El aumento de la utilización de gas natural para producir energía eléctrica ha sido notorio, especialmente en los últimos años (no lo refleja la imagen). Entre sus principales ventajas destaca su bajo nivel de emisión de gases contaminantes y su nivel de reservas probadas. Inconveniente: el precio (indexado al del petróleo).

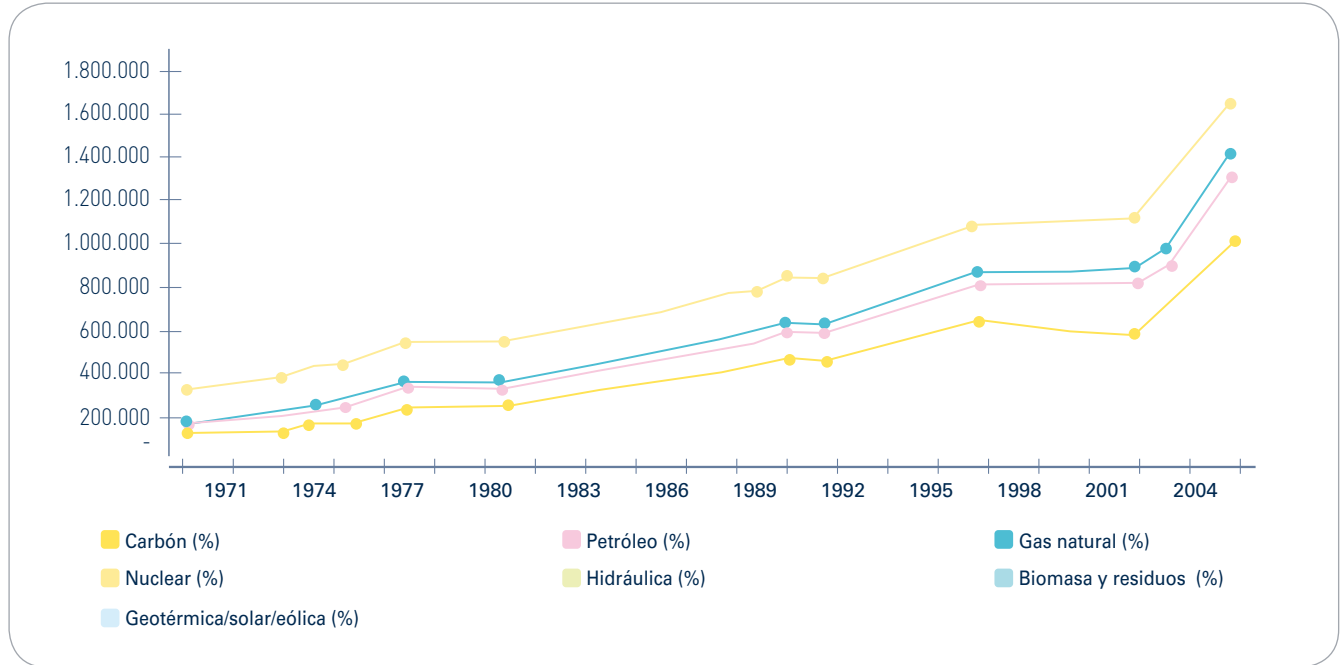
**FIGURA 9a**  
Distribución mundial del consumo de las distintas fuentes de energía 2004



Fuente: ICAI-ITT.

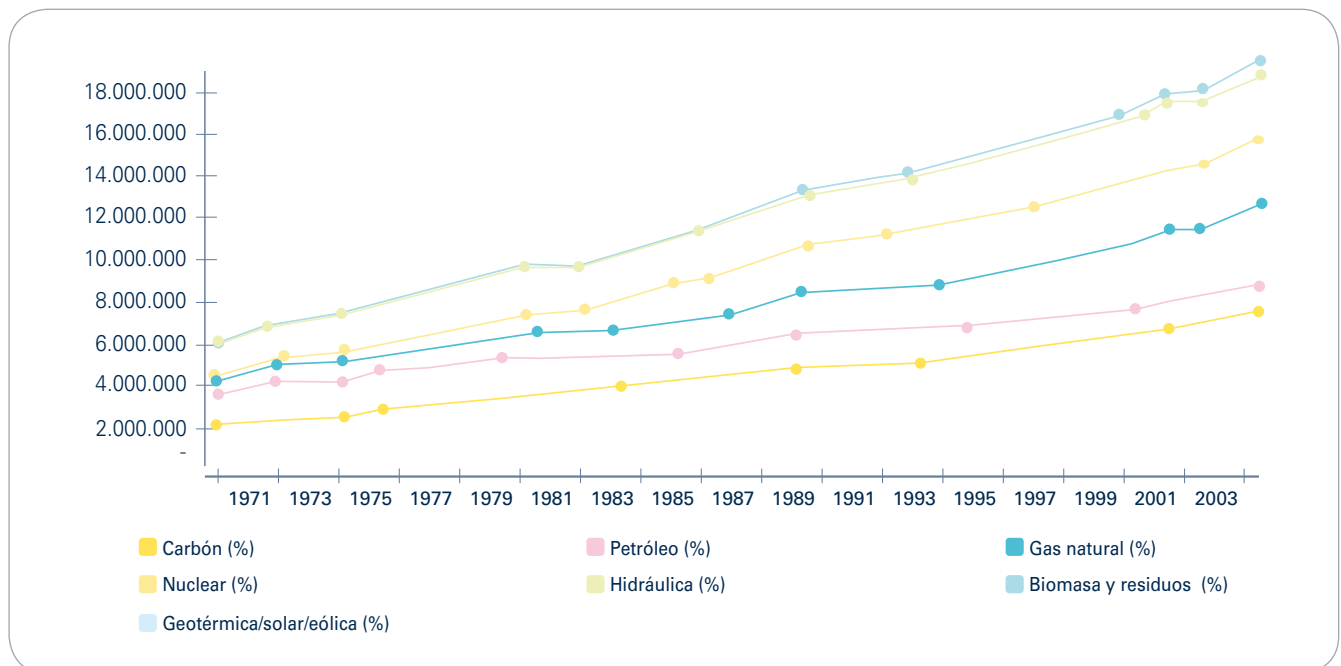


FIGURA 9b  
Distribución del consumo de energía primaria en China.



Fuente: IEA.

FIGURA 10  
Evolución de las fuentes de energía primaria utilizadas para producir electricidad 1971-2003.

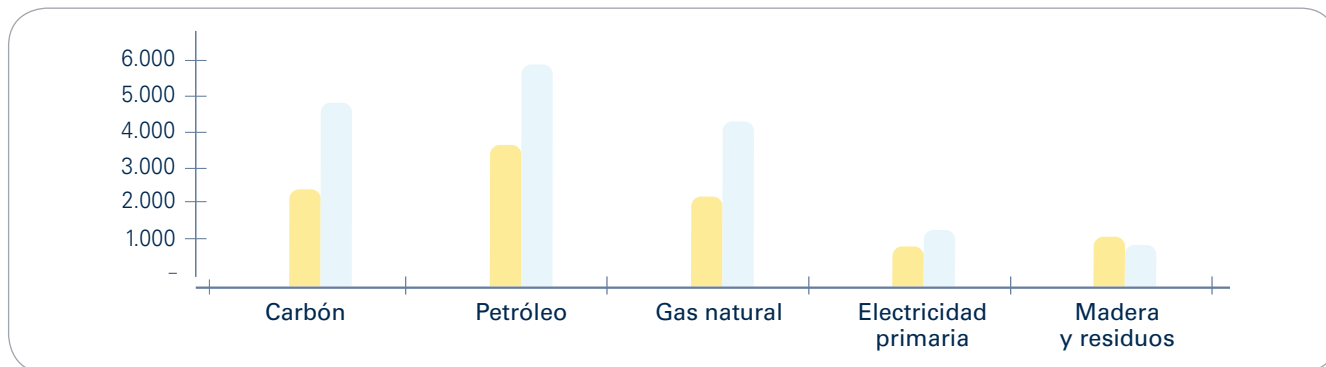


Fuente: IEA.

En cuanto al futuro, vemos las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía relativas al consumo de fuentes de energía primaria para el periodo 2000-2030. Son las siguientes:

- El petróleo continuará siendo la fuente más consumida, aunque su peso disminuirá.

**FIGURA 11**  
**Previsión de la evolución consumo energía primaria 2000-2030, en Mtep.**



Fuente: IEA.

- El carbón y el gas natural serán las fuentes con mayor incremento en su consumo (más del 200% en 2030).
  - La madera y los residuos (vegetales y animales) continuarán manteniendo el nivel actual.
  - La población mundial aumentará un 33%; un 30% en Asia, un 80% en África y Oriente Medio y un 40% en América Latina.
  - El PIB mundial anual crecerá un 150%, un 286% en Asia, un 183% en África y Oriente Medio y un 155% en América Latina.
  - El consumo anual de energía primaria aumentará un 70%, pasando de los casi 10.000 Mtep a 17.065 Mtep. Por regiones, un 146% en Asia, un 109% en África y Oriente Medio y un 103% en América Latina.
  - Si no lo remediamos antes, las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> aumentarán en un 87%, un 187% en Asia, un 172% en África y Oriente Medio y un 110% en América Latina.
- Para finalizar, se presentan algunos de los factores que serán claves en el futuro (algunos ya lo son hoy):
- Por parte de la oferta
    1. El cambio climático.
    2. La explotación masiva de las fuentes de origen renovables.
    3. Investigación y desarrollo (I+D) de nuevas fuentes de energía y de tecnologías de producción de energía eléctrica menos contaminantes y más baratas.
  - Por parte de la demanda
    1. Incremento del consumo de energía como consecuencia de:
      - Crecimiento de la población.
      - Crecimiento de la riqueza. Cada vez habrá más países en el grupo de los desarrollados (África) y más incluidos en el de las potencias mundiales (China y la India).
      - Crecimiento del sector del transporte, necesario para el intercambio de mercancías, consecuencia de la globalización.
      - Desarrollo de China y la India.
      - Urbanización de la población mundial.
    2. Dependencia de unas pocas fuentes de energía primaria (carbón, petróleo y gas), escasas (muy concentradas en determinadas regiones, inestables política y socialmente).
    3. Abastecimiento de fuentes de energía. Seguridad, regularidad y certidumbre.
    4. Precio de las fuentes de energía.
    5. El cambio climático y el desarrollo sostenible.
    6. Concienciación mundial (tanto de ciudadanos como de gobiernos, organismos,...) para combatir al cambio climático.
    7. El ahorro de la energía y su consumo eficiente.
    8. Eficiencia en la producción de bienes. Ser capaces de producir más (generar riqueza) utilizando menos energía, es decir, reducir la intensidad energética.

TABLA 3

Previsiones de población, riqueza, consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> por región 2000-2030.

Región	Población (millones)		PIB (10 <sup>9</sup> € de 1999)		Consumo de energía primaria (Mtep)		Emisiones de CO <sub>2</sub> (Mt)	
	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030
Europa Occidental	456	468	9.225	16.706	1.604	1.936	3.599	4.374
América del Norte	304	365	9.943	18.096	2.532	3.082	6.387	7.955
Japón-Pacífico	158	159	3.699	6.302	635	812	1.406	1.806
<b>Subtotal</b>	<b>918</b>	<b>992</b>	<b>22.867</b>	<b>41.104</b>	<b>4.771</b>	<b>5.830</b>	<b>11.482</b>	<b>14.135</b>
CIS, CEEC	425	422	2.457	6.400	1.173	1.853	2.857	4.476
Asia	3.261	4.278	10.317	39.890	2.581	6.369	6.438	18.512
África-Oriente Medio	984	1.755	2.313	6.553	840	1.762	1.708	4.652
América Latina	514	717	3.455	8.840	614	1.251	1.296	2.722
<b>Subtotal</b>	<b>5.184</b>	<b>7.172</b>	<b>18.542</b>	<b>61.683</b>	<b>5.208</b>	<b>11.235</b>	<b>12.299</b>	<b>30.362</b>
<b>Mundo</b>	<b>6.102</b>	<b>8.164</b>	<b>41.409</b>	<b>102.787</b>	<b>9.979</b>	<b>17.065</b>	<b>23.781</b>	<b>44.497</b>

Fuente: IEA.

### 1.3. Contexto energético español

A partir de una serie de imágenes escogidas, en este apartado se presenta el contexto energético español (pasado, presente y futuro) como un listado de pequeños comentarios. Así, a continuación se pueden ver algunos de los hechos y factores que caracterizan al sector energético en nuestro país:

- En los últimos 25 años, el consumo de energía en España ha sufrido un aumento espectacular y sin precedentes.
- En cuanto a la evolución de la producción de fuentes de energía primaria en las últimas tres décadas, se puede señalar lo siguiente:

1. En España no hay yacimientos de petróleo y gas natural importantes, por lo que nuestra producción es insignificante.
2. España dispone de dos importantes cuencas mineras (León y Asturias). Se observa cómo en los años 80 (crisis del petróleo) la producción aumentó, y cómo en los últimos años, a pesar del aumento en su consumo, ésta ha disminuido algo, y ha dejado paso al carbón importado (más barato).
3. La producción de energía hidráulica se ha mantenido constante (no se han construido nuevas centrales) desde hace más de 30 años.

FIGURA 12 Evolución de los consumos de energía primaria y final / Evolución del consumo de energía primaria por tipo de fuente.



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITy C) / Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

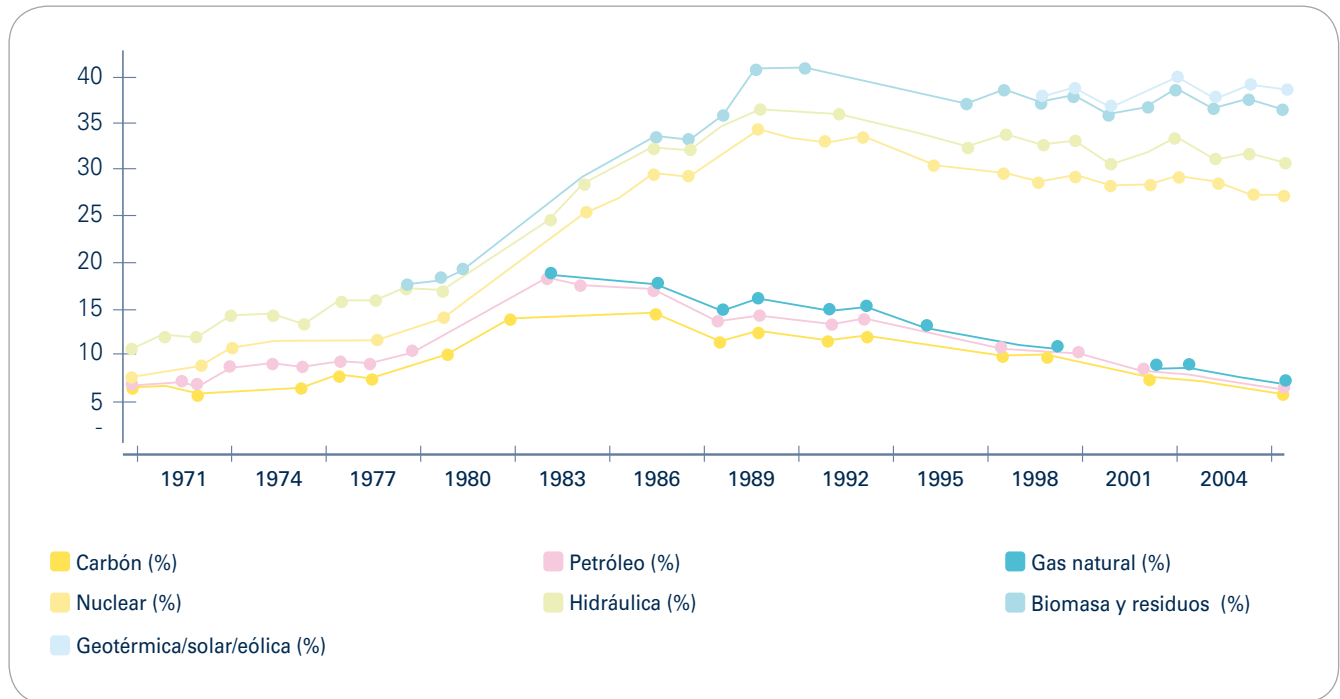
4. El incremento en la producción de mineral de uranio desde los años 80 ha sido espectacular. España posee yacimientos de este mineral, pero no la tecnología para enriquecerlo, y utilizarlo como materia prima en las centrales nucleares. Únicamente unos pocos países en el mundo disponen de la tecnología (Estados Unidos, Rusia, el Reino Unido, China, Francia, ...). De hecho cada vez que un país (el último ha sido Irán) anuncia que va a desarrollar la tecnología, los que ya la poseen, especialmente Estados Unidos, tratan

de impedirlo por el peligro que entraña su uso con fines militares.

5. Se observa el incremento en la producción de fuentes de origen renovable, especialmente eólica y la solar. Para los próximos años se espera una explosión de estas fuentes.

6. Es necesario resaltar la producción de combustibles renovables como maderas y residuos (animales y vegetales).

FIGURA 13  
Evolución de la producción de energía por fuentes primaria entre 1971-2004.



Fuente: IEA.



Central Hidráulica de Bolarque (Guadalajara).



Parque Eólico de Malpica de Bergantiños (La Coruña).

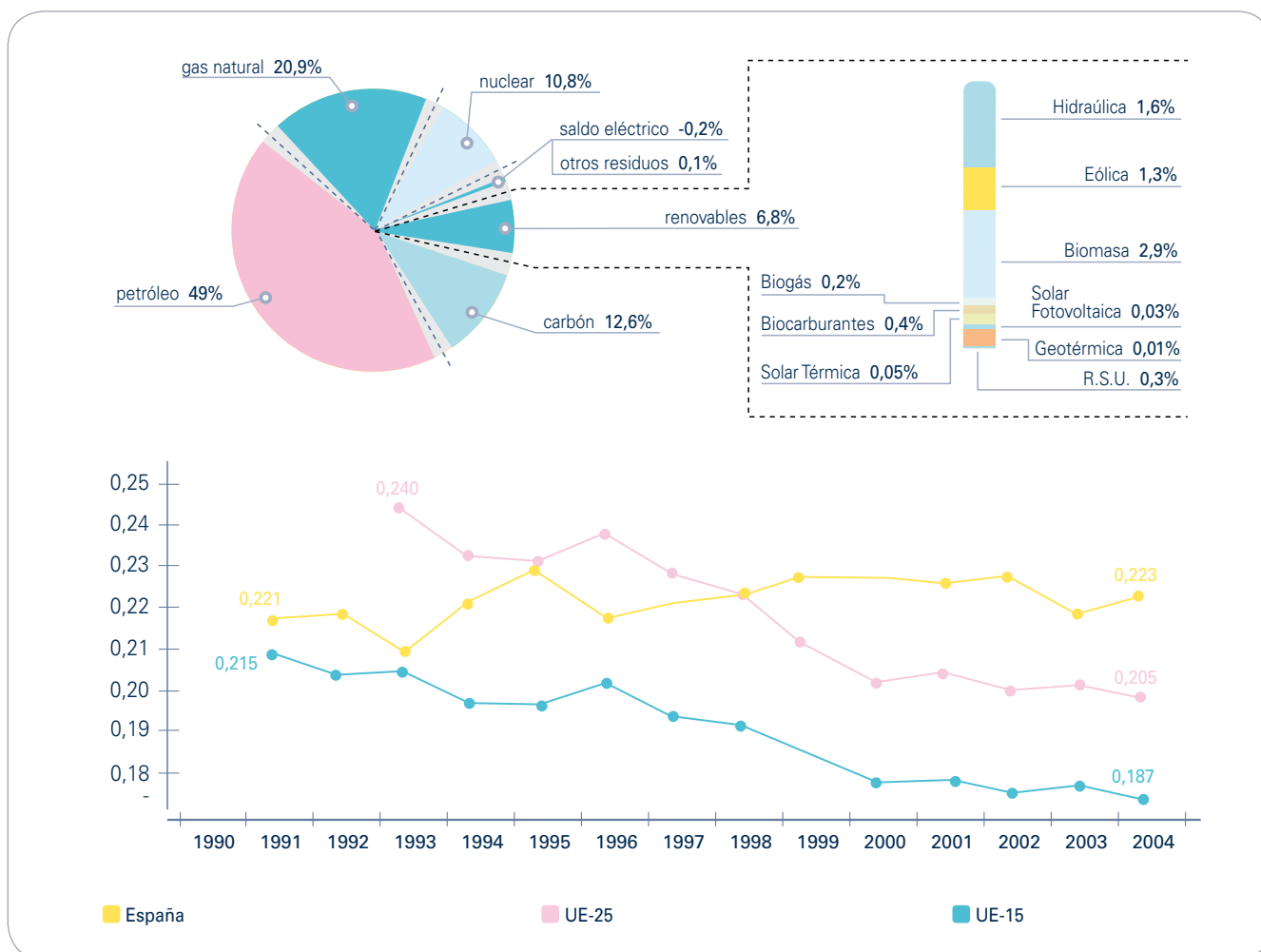
Fuente: EUFER.

- Analizando el balance de energía primaria consumida en 2006, se constata lo siguiente:

- El 85% de las fuentes de energía primaria consumidas (petróleo, gas natural, uranio enriquecido y

algo de carbón) es importado. Esto nos sitúa en una posición muy delicada, máxime teniendo en cuenta nuestro nivel de intensidad energética (de los mayores de Europa) y que el crecimiento del PIB no se espera que descienda por debajo de

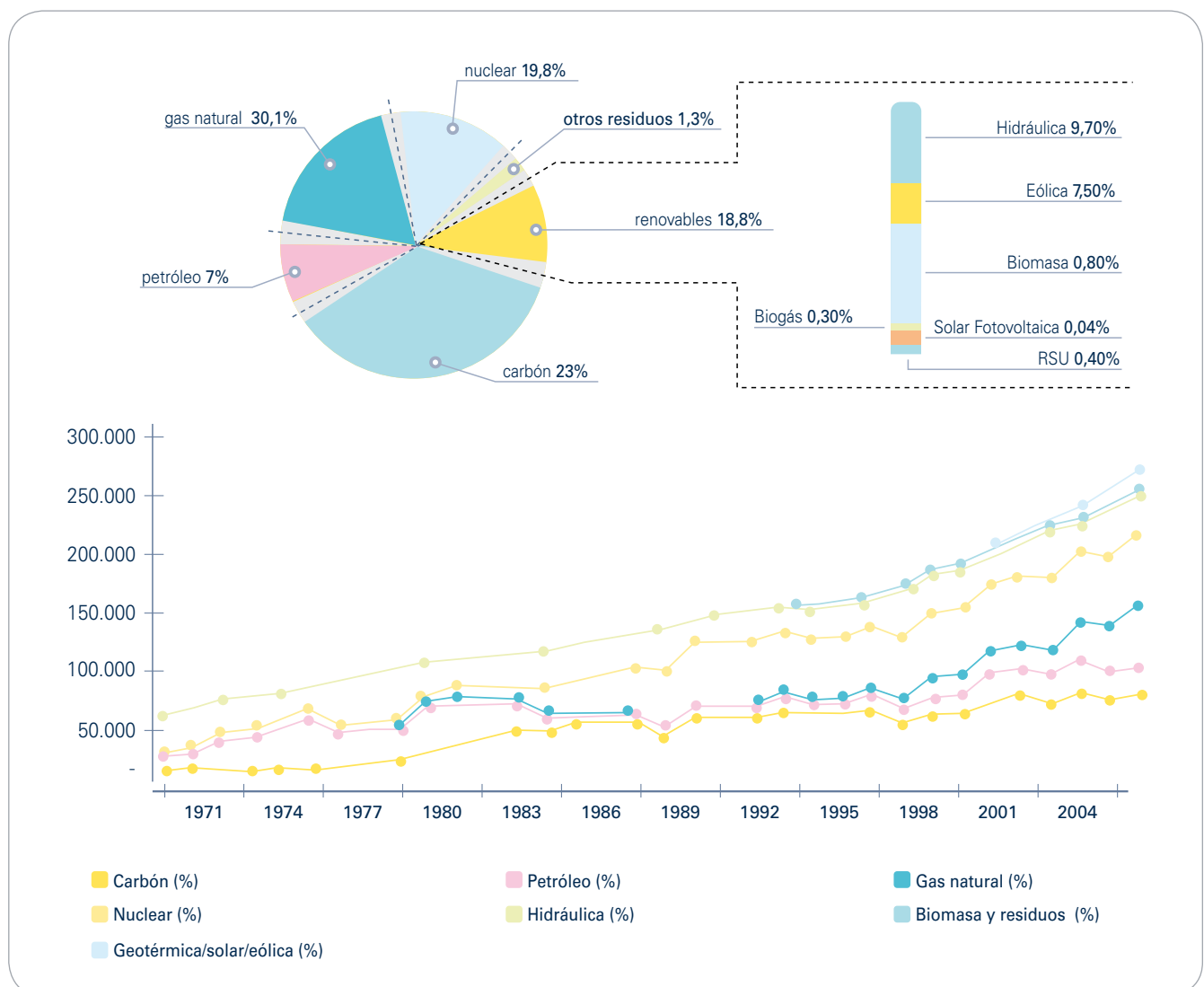
FIGURA 14 Balance de energía primaria consumida en España en 2006 / Evolución de la intensidad de energía primaria.



Fuente: IDAE / Eurostat.

- los niveles alcanzados en los últimos años (4%). Por ello, resulta muy necesario el desarrollo de la industria de las energías renovables (fuentes autóctonas, inagotables y gratuitas), que tan sólo representan el 6,8% del total.
- Consecuencia de lo anterior es nuestra gran dependencia exterior de estas fuentes y, por tanto, la exposición a las fluctuaciones de precios en los mercados.
  - Como corresponde a un país con una importante cuenca minera, el consumo de carbón es significativo (12,5%), aunque una parte es importado (más barato que el nacional).
  - También es necesario mencionar la importancia de la energía nuclear (10,8%). El desarrollo de este sistema de generación se produjo a principios de los años 70, coincidiendo con las crisis del petróleo. Desde 1984 (año de entrada en vigor de la moratoria nuclear), no se han construido nuevas centrales.
  - A principio de los años 90, se inicia el consumo de gas natural, y a día de hoy (21%) es la fuente con mayor incremento relativo. El desarrollo de multitud de centrales de ciclo combinado para producción de energía eléctrica ha disparado su consumo, y la ha convertido en la fuente del futuro, al menos en España.

FIGURA 15  
Fuentes de energía primaria utilizadas para producción de energía eléctrica / Balance de fuentes de energía primaria consumidas para la producción de energía eléctrica 2006.



Fuente: IEA / IDAE.

6. Las fuentes de origen renovable representan el 6,8% del consumo. Aunque en estos momentos la más consumida es la biomasa (quema de residuos vegetales), se espera un importante incremento de la solar y la eólica. Son las fuentes del futuro.
- En cuanto a la evolución del consumo de combustibles para producción de energía eléctrica, se puede señalar lo siguiente:
    1. Al igual que en la mayoría de países, el petróleo se utiliza mayoritariamente para transporte y calefacción, cada vez menos como materia prima para la generación de energía eléctrica.
    2. El combustible más utilizado, y se espera que continúe siéndolo por muchos años, es el carbón.
    3. La producción hidráulica de energía eléctrica se mantiene constante desde antes de los años 70 en que se construyeron los últimos grandes embalses y saltos de agua. En 2006 supuso el 52% de todas las renovables.
    4. En 2006 la eólica supuso el 41% de todas las renovables.
    5. La producción de origen nuclear se mantiene constante desde mediados de los años 80, cuando entró en vigor la moratoria.
    6. La producción a partir del gas natural (centrales de ciclo combinado) y fuentes de origen renovable ha aumentado mucho en los últimos años, y se espera que constituyan el futuro.
    7. En 2006 la aportación de la biomasa, residuos sólidos urbanos, biogás y solar fotovoltaica fue mínima.
- A continuación se muestran una serie de aspectos (coste del MWh producido, los gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por MWh producido,...) referente a las distintas fuentes de energía utilizadas para la producción de energía eléctrica.
- Las previsiones de consumo para 2011 elaboradas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE)

TABLA 4

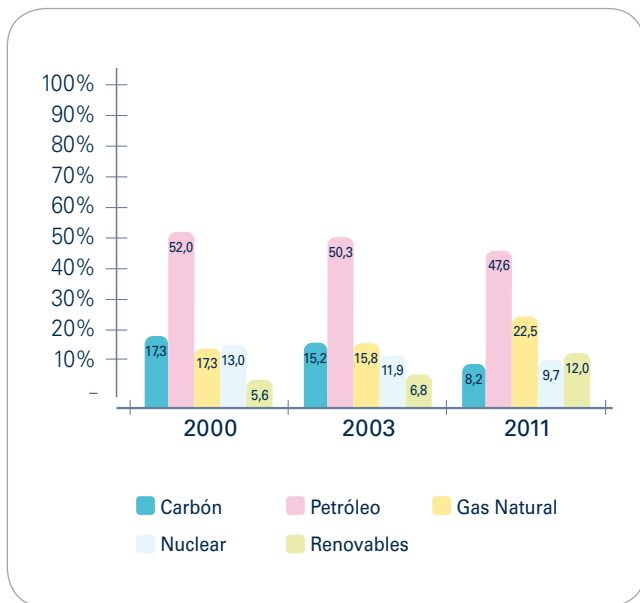
Fuentes de energía utilizados para la producción de energía eléctrica en la UE.

Tipos de energía		Coste (euros/MWh)	Gases de efecto invernadero (kg equivalentes de CO <sub>2</sub> /MWh)	Dependencia de la UE de las importaciones		Eficiencia	Duración de las reservas actuales
				2005	2030		
Gas natural		35-70	400-440	57%	%	40% - 50%	64 años
Petróleo		70-80	550	82%	93%	30%	42 años
Carbón		30-50	750-800	39%	59%	40% - 48%	155 años
Nuclear		40-45	15	100%	100%	33%	85 años
Biomasa		25-85	30	0%	0%	30% - 60%	Renovable
Eólica	En tierra	35-175	30	0%	0%	95% - 98%	Renovable
	En el mar	50-170	10	0%	0%	95% - 98%	Renovable
Hidráulica	Más de 10 MW	25-95	20	0%	0%	95% - 98%	Renovable
	Menos de 10 MW	45-90	5	0%	0%	95% - 98%	Renovable
Solar		140-430	100	0%	0%	—	Renovable



muestran una disminución del carbón y del petróleo a favor del gas y las fuentes de origen renovables.

FIGURA 16  
Previsiones de consumo de distintas fuentes de energía.



Fuente: IDAE.

Por último vamos a exponer algunos aspectos relevantes del sector energético español. Son estos:

- Alta dependencia del exterior. Como ya se ha comentado, alrededor del 85% de las fuentes de energía primaria son importadas (en la UE es tan sólo del 50%). Esto supone riesgos inflacionistas y desequilibrios macroeconómicos en escenarios de precios del crudo al alza.
- España es una isla energética. No disponemos de petróleo ni gas de natural. Nos encontramos geográficamente situados en el extremo sur de Europa. Disponemos de interconexiones eléctricas con Francia, Portugal, Andorra y Marruecos, y de gas natural con Francia, Portugal y Argelia (gasoducto del Magreb).
- Intensidad energética creciente. Desde hace una década la intensidad energética española presenta una tendencia creciente, al revés que en el conjunto de la UE, donde decrece. Esto se debe fundamentalmente a la baja eficiencia de nuestro sector productivo (utilizamos más cantidad de energía para producir la misma unidad de producto). Uno de los grandes retos para España en el futuro inmediato es desligar el crecimiento económico del consumo de energía y, por tanto, de la emisión de GEI.

- En los últimos años el incremento interanual de la demanda eléctrica ha sido superior al 5%, el mayor de la Unión Europea.
- Somos uno de los países de Europa más alejados de cumplir con el Protocolo de Kioto.
- Petróleo. Representa la mitad de las fuentes de energía primaria consumidas. No tenemos apenas producción propia. Gran dependencia exterior.
- Carbón. Continúa teniendo un peso importante en el mix de generación eléctrica a pesar de que en su combustión se emiten gran cantidad de GEI. Dado que es necesaria su utilización en la generación de electricidad durante muchos años más, las compañías eléctricas están dedicando recursos a la investigación y al desarrollo de tecnologías de producción menos contaminantes o un carbón limpio.
- En cuanto al gas natural, a pesar de que en España no hay yacimientos de importancia, dada la relevancia que está adquiriendo la producción de energía eléctrica en ciclos combinados, algunas compañías eléctricas, convertidas desde hace tiempo en grupos energéticos integrados, han alcanzado acuerdos de suministro a largo plazo directamente con los principales países productores del norte de África. El objetivo de tales acuerdos es múltiple: asegurar el suministro futuro, ser capaces de alimentar a las múltiples centrales de ciclo combinado que han desarrollado por todo el país, poder ampliar la oferta de sus clientes eléctricos tradicionales a gas a precios muy competitivos, obtener importantes beneficios por la venta de dicha fuente a otros operadores (nacionales e internacionales)...
- Energía nuclear. Se mantiene el debate en la opinión pública. A nadie deja indiferente. En estos momentos continúa paralizado el desarrollo de nuevas centrales. Con el cierre definitivo de la central nuclear de José Cabrera (Zorita) el 30 de abril de 2006, después de 38 años de vida, en España quedan ocho grupos de generación nuclear.
- Fuentes de origen renovable. Constituyen la apuesta de futuro. Aunque hay estudios que sostienen que para final de siglo España podría cubrir la totalidad de su demanda a partir de estas fuentes, es difícil que lleguen a sustituir por completo a las de origen fósil. Al igual que sucedió en sus orígenes con otras fuentes de energía, en estos momentos el uso de éstas para la producción de energía eléctrica se encuentra subvencionado por el Gobierno. Este extremo es necesario no tanto para conseguir que sustituyan a

otras fuentes consolidadas (quitarles cuota en la generación eléctrica) como para fomentar el desarrollo de toda una industria/sector que con el tiempo la haga tan competitiva o más que el resto.

#### 1.4. Cambio climático y gases de efecto invernadero

El término cambio climático suele utilizarse incorrectamente. Cambio climático es cualquier modificación que se produce en el clima<sup>3</sup> de la Tierra y, por tanto, no es algo nuevo sino que se viene produciendo desde hace miles de millones de años. La novedad se encuentra en que hasta ahora se producía siempre como consecuencia de causas naturales y desde hace unos 300 años ha aparecido una nueva causa: la acción del ser humano (científicamente a este tipo de cambio se le denomina antropogénico y, de manera más coloquial, calentamiento global).

Una de las pruebas de que el hombre está ocasionando la modificación de los climas terrestres se encuentra en que cada vez es mayor la frecuencia y dureza con que acaecen en muy distintas regiones de la Tierra acontecimientos como ciclones, huracanes, inundaciones, sequías,... Desde hace unos años, casi a diario, nos llegan noticias de diferentes desastres naturales acaecidos en todos los rincones del globo. Algunos datos relativos son:

- El invierno de 2006 ha sido el más cálido en el hemisferio norte desde 1880.
- La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es la más alta de los últimos 650.000 años... y continúa subiendo.
- Las temperaturas del ártico aumentaron aproximadamente 5 °C durante el siglo XX, es decir, 10 veces más que la media de la temperatura de la superficie mundial.
- Desde los últimos años sesenta, la cubierta de nieve ha disminuido aproximadamente un 10% en las latitudes medias y altas del hemisferio norte.
- El volumen total de los glaciares de Suiza disminuyó unos dos tercios.
- En julio de 2006 las aguas del mar Mediterráneo en tan sólo 18 días aumentaron su temperatura 8 °C y pasaron de 22 °C a 30 °C.

Desde hace unos años se han adoptado varias medidas en multitud de ámbitos para evitar la proliferación del cambio climático, la mayoría, o al menos de manera más contundente, enfocadas desde el punto de vista de la oferta (investigación y desarrollo de fuentes de energía y de tecnologías de producción de energía eléctrica menos contaminantes, utilización de las fuentes de origen renovable,...). La humilde opinión del autor es que, aunque todos los esfuerzos son pocos, la solución para combatir el cambio climático ha de venir por el lado de la demanda. Las claves son:

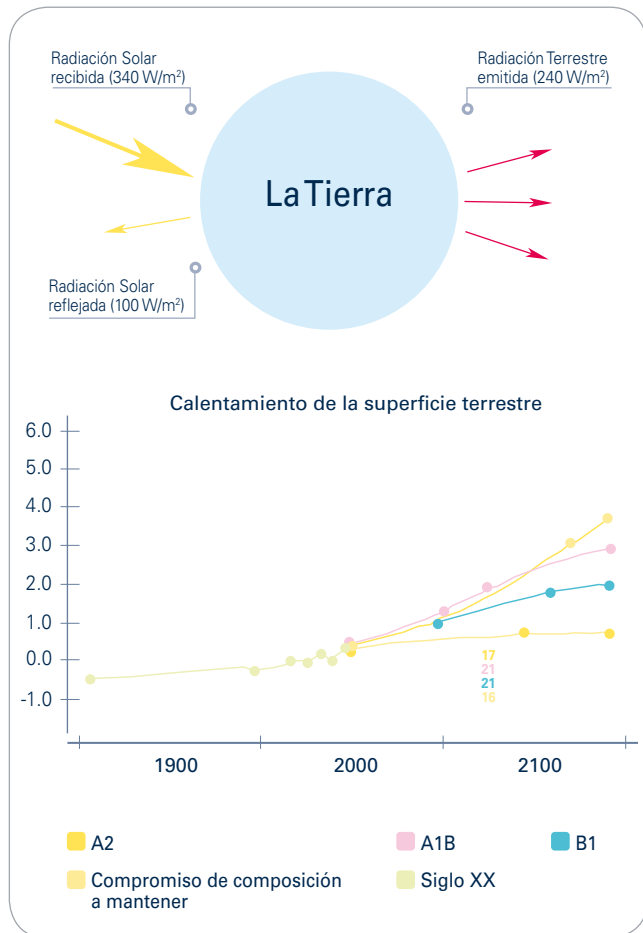
- Concienciación mundial (organismos, empresas, gobiernos, ciudadanos) para combatir el problema.
- Reducción del consumo energético.
- Eficiencia en el uso de las distintas fuentes de energía.
- Reciclaje.
- Regulación de los niveles de emisión de GEI en los sectores residenciales y del transporte.

A continuación se presentan algunos conceptos que, como el de cambio climático, aparecen todos los días en los medios y conviene tener claros y, sobre todo, conocer sus diferencias.

Los gases de efecto invernadero (GEI) constituyen tan sólo el 1% de los que componen la atmósfera, pero son esenciales para que haya vida sobre la Tierra. Estos gases retienen una parte de la energía, que proveniente del Sol, es reflejada por la corteza terrestre, calentando la atmósfera hasta alcanzar las temperaturas óptimas para la existencia de vida (animal y vegetal) sobre la Tierra. Si no existieran los GEI, la temperatura sobre la corteza terrestre sería de -15 °C. El problema se presenta cuando la emisión de GEI por parte del ser humano causa un incremento excesivo de su concentración en la atmósfera, evitando que, parte de la energía reflejada en la corteza debería viajar más allá de la atmósfera, queda confinada en ella y da lugar a un aumento excesivo de su temperatura. Este incremento de temperatura origina, a su vez, cambios, irreparables en muchos casos, en los ecosistemas y continuos desastres climáticos. Según cálculos de los expertos, la temperatura media en la Tierra aumentó 0,6 °C a lo largo del siglo XX y aumentará entre 1,4 °C y 5,8 °C de aquí al año 2100.

<sup>3</sup> No confundir tiempo atmosférico con clima. El primero se define como el estado de la atmósfera (de las condiciones atmosféricas como temperatura, presión atmosférica, dirección y fuerza del viento, cantidad de nubes, humedad,...) registradas en un lugar determinado y en un instante de tiempo. El segundo, sin embargo, se define como el conjunto de esos valores (promedio) tomados en una región de la Tierra durante un periodo de tiempo largo (no inferior a 30 años). Así, los climas se establecen a partir del registro diario de esas condiciones atmosféricas en distintas estaciones meteorológicas y durante muchos años. El compendio de esos datos permite establecer las distintas zonas climáticas en el planeta.

**FIGURA 17**  
Camino recorrido por la radiación solar al entrar en la atmósfera / Estimaciones de la evolución de temperatura en la Tierra.



Fuente: Instituto Católico de Arte e Industria( ICAI) / Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU IPCC 2001.

Los gases de efecto invernadero (GEI)<sup>4</sup> son los siguientes:

- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).** Representa tan sólo el 0,04% de los gases existentes en la atmósfera, pero es el causante del 60% del efecto invernadero (éste es el motivo por el cual casi siempre que se habla de GEI, se hace referencia únicamente al CO<sub>2</sub>). Lo emitimos cuando exhalamos y también en la combustión de las fuentes de energía de origen fósil (madera, carbón, gas natural y derivados del petróleo). La combustión del lignito (modalidad de carbón con el que se genera la mitad de la energía eléctrica consu-

mida en el mundo) es uno de los procesos industriales que más CO<sub>2</sub> emite. El dióxido de carbono es absorbido por las plantas en la fotosíntesis. Por ello, la deforestación es una de las causas indirectas del aumento de su concentración en la atmósfera.

- **Metano (CH<sub>4</sub>).** Representa el 0,0002% de los gases existentes en la atmósfera, pero es el culpable del 20% del efecto invernadero. Se emite durante la fermentación de los alimentos en el aparato digestivo, en la combustión de la biomasa, vertederos de residuos tóxicos,...
- **Óxido nítrico (NO<sub>x</sub>).** Se emite durante la combustión de algunos carburantes y los fertilizantes químicos (abonos nitrogenados). Causante de la destrucción de la capa de ozono.
- **Clorofluorocarbonos (CFC).** Son el hidrofluorocarbono, el perfluorocarbono y el hexafluorocarbono de azufre. Totalmente artificiales (producidos por el ser humano para su uso como líquidos refrigerantes, agentes extintores y propelentes para aerosoles). Por encima de los NO<sub>2</sub>, son los principales causantes de la destrucción de la capa de ozono (una molécula de cloro puede destruir hasta 100.000 de ozono). Un gramo produce 15.000 veces el efecto de un gramo de CO<sub>2</sub>, aunque afortunadamente su concentración en la atmósfera es muy bajo.

Se denomina capa de ozono (O<sub>3</sub>) a la zona de la estratosfera terrestre situada entre 30 km y 40 km de la corteza terrestre y que contiene una concentración relativamente alta (partes por millón) de este gas. Su principal misión es proteger la vida en la Tierra de la energía que en forma de radiación ultravioleta llega del Sol. La capa de ozono se genera en las zonas ecuatoriales, pero los vientos de la estratosfera la trasladan hasta los polos, que es donde se concentra. En condiciones normales, esta capa se crea y destruye constantemente pero se mantiene en equilibrio.

El problema se produce cuando emitimos demasiados CFC y NO<sub>x</sub> que la destruyen. Entonces llegan a la Tierra más radiaciones solares de las aconsejables lo que origina perjuicios importantes a todos los seres vivos. Cuando se habla del agujero en la capa de ozono, no se hace referencia realmente a un agujero sino a una disminución en la concentración de este gas. Cada año sobre el continente antártico se abre un agujero tan extenso como los Estados Unidos y tan profundo como el Monte Everest.

<sup>4</sup> Clasificación establecida por el Protocolo de Kioto.

Se denomina lluvia ácida a las precipitaciones de agua que, contienen partículas de ácidos sulfurosos y nitrogenados en disolución, y que se produce en forma de neblina, lluvia o nieve sobre la superficie terrestre. Esos ácidos se forman por el contacto del hidrógeno del agua (H<sub>2</sub>O) con las moléculas de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) emitidas a la atmósfera por el ser humano. Las actividades que más moléculas emiten son las siguientes:

**TABLA 5**  
**Emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> por actividades.**

	NO <sub>x</sub> (%)	SO <sub>x</sub> (%)
Transporte	40	2
Combustión	49	74
Procesos Industriales	1	22
Eliminación de desechos sólidos	3	1
Incendios forestales, quema agrícola, ...	7	1

Fuente: Elaboración propia.

### 1.5. Protocolo de Kioto

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera durante las décadas de 1960 y 1970 dio lugar a que los climatólogos y otros expertos dieran la voz de alarma a la comunidad internacional. Tras mucho insistir, en 1988 la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente creó un Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). En 1991 este grupo emitió un primer informe en el que se reflejaba la opinión de 400 científicos y que afirmaba que el calentamiento atmosférico era real y se pedía a la comunidad internacional que hiciera algo para evitarlo.

El Protocolo de Kioto es un instrumento legal que establece, por primera vez, un compromiso vinculante y específico de limitación de las emisiones netas de GEI para los países desarrollados, incluyendo en ellos a los países en tránsito a economías de mercado. Fue firmado por todos los países que participaron en la Conferencia de las Partes (conferencia organizada por la ONU para el cambio climático; COP) celebrada en la ciudad japonesa de Kioto en 1997. En ese momento, todos ellos (incluidos Estados Unidos, China, la India,...) acordaron que el Protocolo entraría en vigor 90 días

después de que lo hubieran ratificado al menos 55 países cuyas emisiones representaran el 55% de las emisiones contaminantes del planeta. Su entrada en vigor se produjo el 16 de febrero de 2005, 90 días después de que Rusia lo ratificara.

El objetivo principal del Protocolo es: “Estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas (las causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”.

En estos momentos 141 países han ratificado el Protocolo, responsables de 61,5% de la emisión total de GEI. No lo han suscrito Estados Unidos, emisor del 25% del total de los GEI, Australia, Brasil, China y la India (estos dos últimos, aunque en 2000 emitieron el 12% y el 5% de las emisiones totales respectivamente, por ser considerados en vías de desarrollo no tiene restricciones).

El compromiso adquirido por los países que ratificaron el Protocolo fue el de reducir la emisión de GEI (principalmente CO<sub>2</sub>) a la atmósfera en un 5,2% entre 2008 y 2012. La manera de articular este acuerdo fue la siguiente: cada país se comprometía a alcanzar una emisión de GEI máxima (diferente para cada uno de ellos) durante ese periodo equivalente a un porcentaje de los GEI que emitieron en 1990.

La COP es el órgano supremo de la Convención Marco de las Naciones Unidas para tratar el cambio climático. La primera reunión tuvo lugar en Berlín en 1995, y las siguientes se muestran en la tabla 6:

Se presentan a continuación algunos detalles internos del Protocolo:

- Establece como GEI los seis señalados en el apartado anterior.
- Establece países incluidos en el Anexo I (desarrollados y con economías en transición de mercado) y no incluidos (en vías de desarrollo).
- Establece que el Gobierno de cada país de la UE debe elaborar un Plan Nacional de Asignación (PNA) de emisiones en el que se detallen las cantidades máximas que pueden emitir cada sector industrial, empresa y unidad productiva, marcando tanto fuertes sanciones para quienes lo incumplan como mecanismos de compensación en caso contrario.

TABLA 6  
Principales datos de las EERR en 2006.

COP	Año	Sede
COP1	1995	Berlín
COP2	1996	Ginebra
COP3	1997	Kioto
COP4	1998	Buenos Aires
COP5	1999	Bonn
COP6	2000	La Haya
COP6bis	2001	Bonn
COP7	2001	Marruecos
COP8	2002	Nueva Delhi
COP9	2003	Milán
COP10	2004	Buenos Aires
COP11	2005	Montreal
COP12	2006	Nairobi
COP13	2007	Nueva York

Fuente: IDAE.

- Establece tres mecanismos (denominados de flexibilidad) mediante los que, los países del Anexo I que no alcancen a cumplir sus compromisos de emisión, pueden evitar las sanciones. Son estos:

1. Aplicación Conjunta (AC). Este mecanismo consiste en la realización de proyectos del Anexo I que generen un ahorro de emisiones adicional al

que se hubiera producido en el supuesto de haber empleado tecnología convencional o no haber incentivado la capacidad de absorción de las masas forestales. En la práctica, los potenciales países receptores serán fundamentalmente los de la Europa Central y del Este. El ahorro de emisiones debe ser certificado por una Entidad Operacional Designada (EOD). Las Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) así obtenidas pueden ser comercializadas y adquiridas por las entidades públicas o privadas de los países desarrollados o de las economías en transición para el cumplimiento de sus compromisos de reducción.

2. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este mecanismo es idéntico al de AC con la única diferencia de que los proyectos han de realizarse en países no incluidos en el Anexo I (en desarrollo).

3. Comercio de Emisiones (CE). Si una empresa de un país incluido en el Anexo I ha logrado reducir su nivel de emisiones por debajo de lo comprometido, podrá vender el resto (es una venta virtual ya que no se vende ningún bien tangible, únicamente los derechos sobrantes) a otras empresas (de su propio país o extranjeras) que no lo hayan conseguido. En caso contrario, los países que no alcancen sus compromisos de reducción, podrán evitar sanciones comprando derechos de emisión. Este sistema es lo que se denomina Mercado de Derechos de Emisión, en el que la tonelada de CO<sub>2</sub> ronda los 10 dólares y fluctúa según la oferta y la demanda.

El objetivo de estos mecanismos es doble: por un lado, facilitar a los países del Anexo I el cumplimiento de sus compromisos de reducción de emisiones y, por otro lado, apoyar el crecimiento sostenible en los países en vías de desarrollo (Anexo II) a través de la transferencia de tecnologías limpias.

Los principales defectos del Protocolo son:

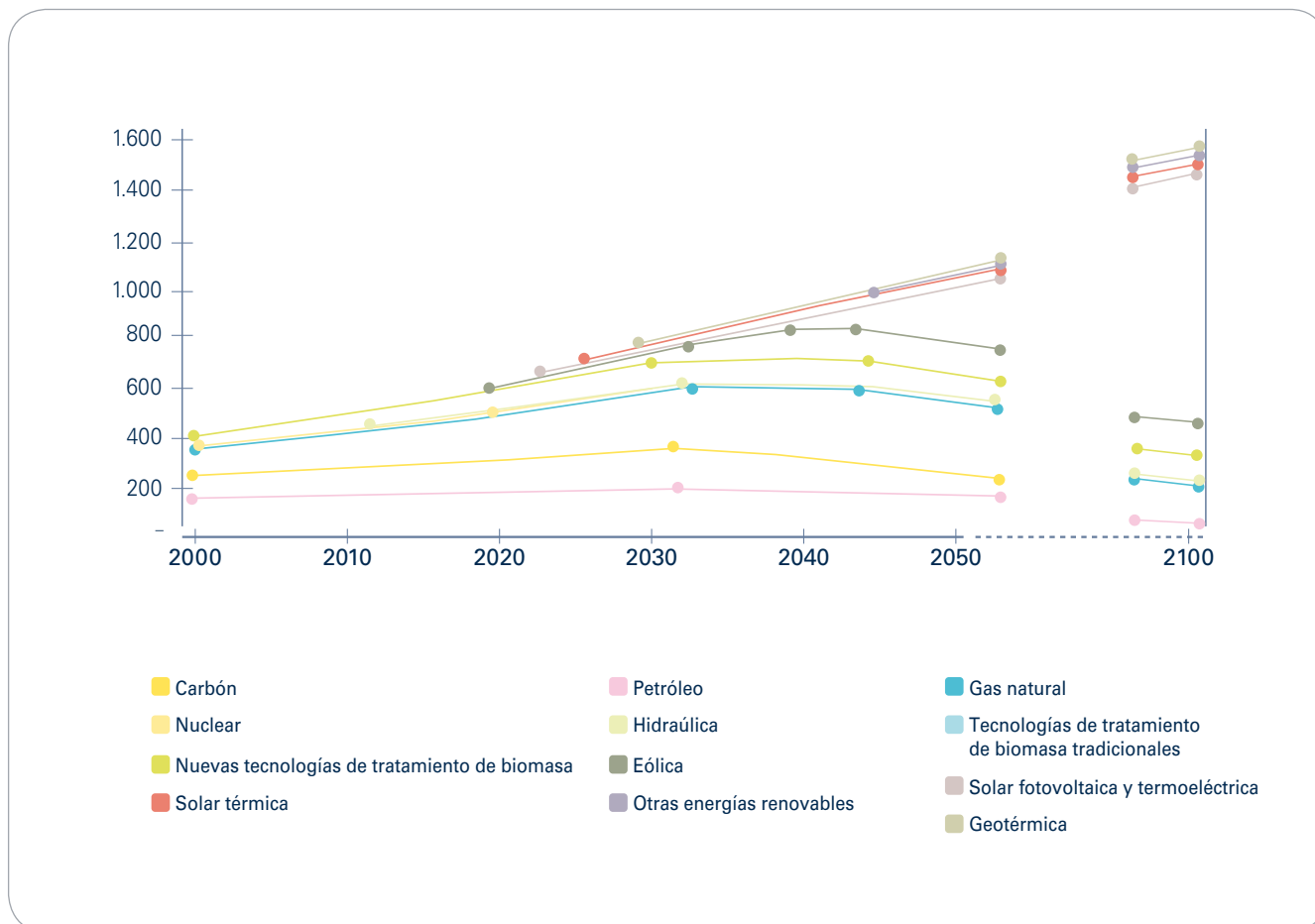
- No tiene en cuenta a los dos sectores que, con diferencia, más GEI emiten (denominados difusos): El transporte y el residencial.
- No ha sido ratificado por Estados Unidos (responsable del 25% de la emisión de CO<sub>2</sub>), Brasil, China y la India (estos dos últimos son grandes emisores de CO<sub>2</sub> y, dado el desarrollo económico esperado y su dependencia de las fuentes de origen fósil, lo serán más en el futuro). Los gobiernos chino e indio han declarado que la adhesión al protocolo de Kioto retardaría su desarrollo económico.

La situación de España en lo referente al Protocolo de Kioto (ratificado entre los primeros países) es la siguiente:

- Nuestro compromiso fue el de emitir entre 2008-2012 tan sólo un 15% más de CO<sub>2</sub> que los emitidos en 1990.
- En la actualidad emitimos un 52% más de lo que lo hicimos en 1990. Somos el país de la UE-15 que más se aleja de sus compromisos dentro del Protocolo de Kioto.
- Nuestros niveles de intensidad energética son los mayores de la UE-15.
- Las emisiones de GEI per cápita son las más bajas de la UE-15.
- La Intensidad de CO<sub>2</sub> de origen energético (emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión en la producción y transformación de energía / PIB) ha experimentado un crecimiento del 8,4% en el periodo 1990-2005.

- En ese periodo de 1990-2005, la emisión total de GEI procedente de la combustión en la producción y transformación de la energía aumentó en un 61,6%.
- En el futuro, las políticas energéticas deben fomentar el paralelismo existente entre el crecimiento de la actividad económica y el consumo de energía, evitando, por supuesto, descensos en la riqueza (PIB) y el empleo.
- El Plan Nacional de la Asignación 2008-2012 (PNA) español realiza una apuesta firme por el ahorro energético, la eficiencia en el consumo de energía y la explotación de fuentes de origen renovables. Afecta a todos los sectores emisores, incluidos los difusos (transporte y usos residenciales). Hace un especial hincapié en los MDL dada la importante presencia de empresas españolas en Latinoamérica.
- El PNA calculaba unas emisiones para el periodo 2008-2012 tan sólo un 24% superiores a las de 1990, y que los 15 puntos porcentuales de exceso (para

FIGURA 18  
Escenario de penetración de las EERR a nivel mundial.



Fuente: PV NET.

quedarnos en el 15%) se lograrían por medio de las siguientes vías:

1. Un 2% gracias a los sumideros (el ejemplo más claro es el de la reforestación de bosques; absorbedores de CO<sub>2</sub>).
2. Un 7% por medio del CE (adquiriendo derechos de emisión). Esto equivaldría a 20 Mt/año de CO<sub>2</sub> y entre 100 millones de euros - 200 millones de euros.

Los instrumentos actualmente en vigor para combatir el cambio son la Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2002-2011, el Plan de Fomento de las Energías Renovables de 1999 y la Estrategia de Eficiencia y Ahorro Energético en España (E4). El IDAE establece nuevos objetivos al alza de las energías renovables, y un Plan de Acción que complementa la E4.

## 1.6. Energías renovables

Una de las acciones más eficaces que desde el punto de vista de la oferta se pueden llevar a cabo para evitar la proliferación del cambio climático es la explotación de fuentes de energía de origen renovables para disponer de energía eléctrica, térmica o calorífica.

Las principales fuentes de energía de origen renovable son el Sol (energía solar térmica, fotovoltaica y termoeléctrica), el viento (eólica terrestre y marina), el agua dulce encauzada o embalsada, el agua del mar, la biomasa (madera y los residuos vegetales y animales), el biogás, los biocarburantes (bioetanol, y biodiésel), el calor interior de la corteza terrestre, ...

Las principales ventajas de estas fuentes son:

- En su combustión no emiten GEI. Su explotación es respetuosa con el medio ambiente.
- Son inagotables y autóctonas. Su uso disminuye el grado de dependencia exterior y aumenta la seguridad del suministro.
- La mayor parte de ellas (sol, viento, agua dulce o marina,...) son gratuitas, por lo que su uso reduce la factura energética del país. Otra cosa es el coste de su preparación, transporte y explotación.
- Al estar mayoritariamente localizadas en el ámbito rural, el uso fomenta su desarrollo económico y social. Los proyectos de explotación de estas fuentes constituye una nueva, complementaria e importante fuente de ingresos para los propietarios de los terrenos.

- Por su novedad, dinamismo y margen de mejora tecnológica, el sector de las energías renovables constituye una importante fuente de generación de empleo y de inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para el país.

A continuación se muestra el escenario de penetración de las EERR en el mundo previsto para 2100.

En lo concerniente a la UE-27, el pasado mes de marzo de 2007, sus miembros se comprometieron a alcanzar en 2020 los siguientes objetivos:

- Que el 20% del consumo energético sea cubierto con energías renovables.
- Que el 10% de los combustibles utilizados para automoción sea cubierto con biocarburantes. El establecimiento de un objetivo específico para los biocarburantes se debe a que el sector transporte se alimenta en un 98% de los derivados del petróleo, y que es el responsable de la emisión de un tercio del total mundial de CO<sub>2</sub>. Además, se espera que este sector sea el de mayor crecimiento de emisiones hasta 2020.
- Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en al menos un 20%.
- Mejora de la intensidad energética (consumo de energía / PIB) en un 20%.

Para 2010 se mantienen los objetivos acordados:

- Que el 12% del consumo energético sea cubierto con energías renovables.
- Que el 5,75% de los combustibles utilizados para automoción sea cubierto con biocarburantes.

En cuanto a España, tan sólo tres comentarios (en este Manual se le van a dedicar cuatro capítulos):

- Es imprescindible, al igual que ha ocurrido anteriormente con otros sistemas de producción energética, que los proyectos de energías renovables se encuentren subvencionados, al menos durante los primeros años. El objetivo no es tanto que adquieran un peso significativo entre los sistemas de producción de energía, cosa que llevará varias décadas, como conseguir la creación de toda una industria sólida y duradera a su alrededor. Esto posibilitaría el desarrollo tecnológico necesario para conseguir una disminución de los costes y, a su vez, la independencia económica de este tipo de proyectos (que sean rentables por sí mismos, sin necesidad de ayudas externas).

- Las fuentes de energía de origen renovable representaron el 6,8% del total de energía primaria consumida. La biomasa supuso el 43% del total, la hidráulica el 23%, la eólica un 19%, los biocarburantes el 5,8%, los residuos sólidos urbanos el 4,4% y el biogás el 2,9%. El resto de EERR (solar fotovoltaica, solar térmica y geotérmica) apenas fueron consumidas como energía primaria.
- Las EERR representaron el 18,8% del total de energía primaria utilizada para generar energía eléctrica.

La hidráulica supuso el 52% del total, la eólica el 41%, la biomasa el 4,2%, los residuos sólidos urbanos el 2,1% y el biogás el 1,5%. La solar fotovoltaica apenas aportó a la producción nacional de energía eléctrica.

A continuación se muestra la situación actual de las energías renovables en España y su grado de cumplimiento respecto de los objetivos marcados en el Plan de Energías Renovables (PER) para 2010.

TABLA 7  
Principales datos de las EERR en 2006.

Fuente de Energía Renovable	Balance en 2006	Acumulado hasta 2006	Objetivo PER en 2010	Cumplimiento del Objetivo
Hidráulica hasta 10 MW	31 MW	1.819 MW	2.199 MW	82,7%
Hidráulica entre 80 y 50 MW	28 MW	2.938 MW	3.257 MW	90,2%
Eólica	1.696 MW	11.606 MW	20.155 MW	57,5%
Solar térmica	134.663 m <sup>2</sup>	930.000 m <sup>2</sup>	4.901.000 m <sup>2</sup>	18,9%
Solar fotovoltaica	60,5 MWp	118 MWp	400 MWp	29,5%
Solar termoeléctrica	—	—	500 MW	0%
Biomasa eléctrica	55 MW	409 MW	2.039 MW	20%
Biomasa térmica	13 ktep	3.457 ktep	4.070 ktep	84,9%
Biogás	8 MW	160 MW	235 MW	68%
Biocarburantes	284 ktep	549 ktep	2.200 ktep	24,9%



## 1.7. Ahorro energético y uso eficiente de la energía (eficiencia energética)

El ahorro energético y el uso eficiente de la energía (la denominada eficiencia energética) es el objeto del presente Manual (se le van a dedicar seis de los trece capítulos, cada uno enfocado a un sector de actividad distinto). Por ello, en este apartado tan sólo se va a hacer una introducción al asunto.

Una vez analizado en los anteriores apartados el contexto energético internacional y nacional, no cabe duda de que el ahorro de energía (consumo responsable) y el uso eficiente de las fuentes de energía resultan esenciales para el futuro de todos los habitantes del planeta.

Precisamente el ahorro y la eficiencia son dos medidas que proceden de la demanda (como se comentó anteriormente, las actuaciones más efectivas para combatir el cambio climático han de provenir de la demanda más que de la oferta).

Para España en particular es esencial realizar todos los esfuerzos posibles (gobierno, empresas, organizaciones, ciudadanos,...) en ahorro y eficiencia, entre otros, por los siguientes motivos:

- Reducir la factura energética. El 85% de la energía primaria que consumimos es importada.
- Reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles (caros, suministro incierto).
- Reducir la emisión de GEI. La mayor parte de las fuentes de energía utilizadas son de origen fósil (carbón, petróleo y gas natural) que son los que más GEI genera su combustión.
- Ahorro en la compra de derechos de emisión y en el pago de sanciones por no cumplir los compromisos adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kioto.
- Reducir el nivel de intensidad energética, haciéndonos más eficientes y con ello nuestros productos más competitivos para el exterior.

La normativa, planes de fomento y estrategias más relevantes en los que a las energías renovables, ahorro y eficiencia energética son los siguientes:

- Ley 54/1997, de 27 noviembre, del Sector Eléctrico.
- RD 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.

- RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Constituye la primera norma europea que obliga a incorporar las tecnologías solares (térmica y fotovoltaica) a los inmuebles.
- RD 1539/2006, de 15 de diciembre, por el que se regula la concesión de ayudas para la renovación del parque nacional de maquinaria agrícola.
- RD 47/2007, de 19 de enero, que complementa al Código Técnico de la Edificación (CTE).
- RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010. Constituye la principal referencia del sector de las EERR en España. Establece que el 12,1% del consumo de energía primaria para el año 2010 sea abastecido por EERR.
- Plan de Acción (PAE4) 2005-2007. Concreta las medidas e instrumentos que se deben activar, la financiación y los objetivos energéticos y medioambientales que hay que lograr.
- Plan de Acción Ahorro y Eficiencia Energética (PAE4+) 2008-2012. Aprobado el 20 de julio de 2007. Recoge la experiencia de los tres años de gestión del anterior Plan y establece medidas concretas para los siete sectores desagregados (industria, transporte, edificación, servicios públicos, residencial, agricultura y transformación de energía), focalizándose en los denominados difusos (transporte y residencial).
- Plan Nacional de Asignación 2008-2012 de derechos de emisión (PNA).
- Estrategia Española del Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCEL)
- Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) 2004-2012, aprobado por el Gobierno el 28 de noviembre de 2003. Establece los potenciales de ahorro y las medidas que se deben llevar a cabo con el objeto de mejorar la intensidad energética de nuestra economía e inducir un cambio de convergencia hacia los compromisos internacionales en materia de medio ambiente. Sobre esta Estrategia se concretó el Plan de Acción 2005-2007.

TABLA 8  
Resumen de medidas sectoriales.

Sector	Medida
Agricultura	Campañas de comunicación. Cambio en los sistemas de riego. Mejora del ahorro y la eficiencia energética en el sector pesquero. Mejoras energéticas en comunidades de regantes. Modernización de la flota de tractores agrícolas. Mejora de la eficiencia energética de los tractores en uso mediante la ITV. Migración a la agricultura de conservación (siembra directa y cubiertas vegetales).
Industria	Acuerdos voluntarios. Auditorías energéticas. Programa de ayudas públicas.
Servicios Públicos	Instalaciones de alumbrado público. Estudios y auditorías energéticas. Formación a técnicos municipales. Mejora de la eficiencia energética en infraestructuras de agua.
Equipamiento y ofimática	Plan "Renove" de electrodomésticos. Plan de equipamiento y uso eficiente de la energía en la Administración.
Edificación	En edificios existentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rehabilitación de la envolvente.</li> <li>- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas.</li> <li>- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.</li> </ul> En nuevos edificios: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover la construcción y la rehabilitación de los existentes con alta calificación energética.</li> </ul>
Transformación de la energía	Comisiones mixtas en refinado de petróleo. Comisiones mixtas en generación eléctrica. Desarrollo potencial de cogeneración: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudios de viabilidad.</li> <li>- Nuevas instalaciones en actividades no industriales.</li> <li>- Fomento de plantas de cogeneración de pequeña potencia.</li> </ul> Mejora de la eficiencia energética en cogeneración: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auditorías energéticas.</li> <li>- Plan "Renove" de instalaciones existentes.</li> </ul>
Transporte	Planes de movilidad urbana. Planes de transporte para empresas. Mayor participación de medios colectivos en transporte por carretera, ferrocarril y marítimo. Gestión de Infraestructuras de transporte: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flotas de transporte por carretera.</li> <li>- Flotas de aeronaves.</li> </ul> Conducción eficiente de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vehículo privado.</li> <li>- Camiones y autobuses.</li> <li>- Aeronaves.</li> </ul> Renovación de la flota de transporte por carretera y las flotas aérea y marítima, así como del parque de turismos. Acciones generales de comunicación a todos los sectores.

## 1.8. Direcciones de interés

A continuación se muestran algunas de las direcciones de Internet en las que se puede ampliar la información presentada en este capítulo.

Gas Natural Fenosa  
[www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)

Red Eléctrica de España  
[www.ree.es](http://www.ree.es)

UNESA  
[www.unesa.es](http://www.unesa.es)

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio  
[www.mityc.es](http://www.mityc.es)  
Secretaría General de la Energía del Ministerio  
[www.mityc.es/Energia](http://www.mityc.es/Energia)  
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía  
[www.idae.es](http://www.idae.es)  
Oficina española para el cambio climático  
[www.mma.es/oecc](http://www.mma.es/oecc)  
Comisión Nacional de la Energía  
[www.cne.es](http://www.cne.es)  
Operador del Mercado Eléctrico  
[www.omel.com](http://www.omel.com)  
Consejo de Seguridad Nuclear  
[www.csn.es](http://www.csn.es)

Ministerio de Medio Ambiente  
[www.mma.es](http://www.mma.es)

Asociación Española de Operadores  
de Productos Petrolíferos  
[www.aop.es](http://www.aop.es)  
Asociación Española del Gas  
[www.sedigas.es](http://www.sedigas.es)

Asociación Empresarial Eólica  
[www.aeeolica.org](http://www.aeeolica.org)  
Asociación de Productores de  
Energías Renovables  
[www.appa.es](http://www.appa.es)  
Sociedad Nuclear Española  
[www.sne.es](http://www.sne.es)

El Protocolo de Kioto  
[www.icex.es/Protocolokioto/default.htm](http://www.icex.es/Protocolokioto/default.htm)  
La ruta de la energía  
[www.larutadelaenergia.org](http://www.larutadelaenergia.org)

Energía en la UE  
<http://europa.eu/scadplus/leg/es/s14000.htm>  
Agencia Internacional de la Energía  
[www.iea.org](http://www.iea.org)  
Consejo Mundial de la Energía  
[www.worldenergy.org/wec-geis](http://www.worldenergy.org/wec-geis)  
Organización de Países Exportadores de Petróleo  
[www.opec.org](http://www.opec.org)





## 02 | Eficiencia y Ahorro Energético en el Hogar

## 1. Generalidades

España es uno de los países europeos que menos energía consume en el sector residencial, debido a los beneficios que aporta el clima característico del país. Sin embargo, este sector supuso el 15,6% de la energía total consumida en España en el año 2004, y se situó únicamente por debajo del sector transporte, que supone un 35,4% del consumo energético total. Además de situarse el segundo de la lista, el consumo de energía por hogar aumentó un 5% en 2004 en relación con 2003, y mostró una tendencia al alza favorecida por el incremento de equipamiento en electrodomésticos no eficientes.

Ante tal situación, el objetivo buscado es aumentar la eficiencia de la energía consumida. La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento de energías primarias y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

En relación con el cumplimiento de dicho objetivo, el Plan de Acción 2008-2012 pretende que los edificios nuevos cumplan criterios mínimos de eficiencia energética más exigentes que se tendrán en cuenta durante la fase de diseño y que serán demostrados mediante la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, a través del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero. De esta forma, a la hora de escoger una vivienda, se pueden considerar los aspectos de eficiencia, mediante esta certificación.

En el caso de edificios ya construidos, los objetivos del Plan de Acción están basados en la financiación para el apoyo de obras de reforma o de mejora de la envolvente del edificio, la renovación de las instalaciones térmicas y las instalaciones de iluminación interior. Para los edificios existentes está prevista la elaboración de otro Real Decreto con anterioridad a enero de 2009.

## 2. Principales consumidores de energía

El consumo energético que se produce en el interior de una vivienda tiene su origen en diferentes equipos e instalaciones: demanda energética para la calefacción, la refrigeración, la producción de agua caliente sanitaria, los electrodomésticos y la iluminación. Por tanto, a partir de estas formas de consumo, se cubren las necesidades energéticas en el sector residencial.

En el análisis individual de cada una ellas, se comprueba que la climatización, que abarca tanto la calefacción y la refrigera-

ción como el control de la humedad, es el sistema que más energía consume. En segundo lugar se sitúa la producción de agua caliente sanitaria seguida de los equipos eléctricos y de la iluminación.

Lo normal y justificable en primera estancia sería ahorrar en aquellos elementos e instalaciones en la que el consumo es mayor. Sin embargo, aunque hay sectores que presentan consumos menores (como, por ejemplo, iluminación), si hacemos referencia a valores absolutos supone una medida potencial de ahorro energético.

A continuación, se tratarán de forma independiente estos sectores.

### 2.1. Instalaciones de calefacción

Como calefacción se denominan aquellas instalaciones térmicas destinadas a mantener la temperatura ambiente de un determinado recinto a un nivel superior al de la temperatura a la que se encuentra el entorno de dicho recinto.

Por contra, las instalaciones de refrigeración son aquellas cuyo objetivo fundamental es mantener un recinto a una temperatura inferior a la del ambiente exterior. Si además del control de temperatura, se realiza un control de la humedad del recinto, las instalaciones se denominan instalaciones de climatización.

De forma general, la energía demandada por un edificio que se destina al acondicionamiento térmico de las dependencias, ya sea para calefacción o para refrigeración, oscila entre un 40% y un 70%, por lo que se trata de un consumo muy importante de energía. Particularmente, es necesario prestar especial atención a la instalación de la climatización, debido a que su consumo energético puede llegar a alcanzar hasta un 50% del total del edificio.

Hay que tener en cuenta, además, que aunque el diseño del edificio cuente con características constructivas adaptadas a las condiciones ambientales exteriores e interiores de un edificio, siempre es necesaria la instalación de sistemas de climatización para llegar al nivel óptimo de confort térmico, entendiéndolo éste como la sensación agradable y equilibrada entre humedad relativa, temperatura y calidad del aire.

Por otro lado, es imprescindible tomar las medidas necesarias para reducir las pérdidas de calor en invierno o las ganancias en verano. De este modo, la demanda de energía necesaria para el acondicionamiento térmico del edificio disminuye y, consecuentemente, también lo hace el consumo energético.

En la actualidad todo sistema de calefacción puede dividirse en: generador de calor, combustible, distribuidor de calor y unidades terminales. La generación comprende las calderas, estufas y todo sistema que mediante algún elemento transforma el combustible que está en presencia de aire en calor útil como consecuencia de un proceso de combustión. Al existir combustión, aparece la necesidad de instalar una chimenea para evacuar los gases generados durante este proceso. Por tanto, una chimenea es, al fin y al cabo, un conducto por el que se transfiere calor, y en ella, se pueden llevar a cabo medidas de ahorro para elevar la eficiencia en estos sistemas de combustión.

En un sistema de calefacción que esté mal diseñado y en el que no se realizan tareas de mantenimiento, las pérdidas de calor pueden alcanzar desde el 30% al 40%. Esto significará que estamos calentando el aire exterior, en lugar del ambiente o los locales.

Por otro lado, en la actualidad existen sistemas de calefacción más modernos, como es el suelo radiante, que consiste en un conjunto de serpentines, generalmente de plástico, que se sitúan en suelo, por debajo de las baldosas. Por el interior de estos tubos circula agua caliente a baja temperatura (40 °C - 50 °C). Este sistema transmite el calor desde los tubos hacia el suelo de la vivienda, por lo que es recomendable desde el punto de vista fisiológico. El principal inconveniente es que al tener una gran inercia térmica, es de mayor consumo de combustible, a lo que hay que añadir el todavía elevado coste y la necesidad de planificar un sistema de este

tipo durante el proceso de construcción de la vivienda, puesto que requiere realizar una importante remodelación.

Otro sistema comúnmente empleado son los radiadores convencionales. Estos elementos son excelentes desde el punto de vista de la utilización de la radiación para calefacción, ya que ofrecen una mayor posibilidad de control individual unida a una menor inercia térmica, que evita el consumo innecesario al no calentar las estructuras del edificio, como es el caso del suelo radiante. Cada radiador debe tener una válvula termostática individual, que permita que se pueda controlar la temperatura estancia por estancia, aumentando la eficiencia con menos consumo.

A la hora del tamaño de las instalaciones, el principal factor que hay que tener en cuenta es el de las pérdidas de calor que deba cubrir. Cuanto mayores sean las pérdidas, más grande debe ser la caldera o estufa que se va a utilizar.

Un sistema de calefacción central de por sí es alrededor de un 15% más eficiente que un conjunto de calderas individuales o estufas por cuarto. En este caso, siempre que sea posible, conviene dividir el sistema de calefacción en unidades de menor capacidad individual, de tal forma que la suma de ellas sea la carga requerida, en lugar de utilizar una sola caldera para todo el edificio, buscando que éstas trabajen al mejor rendimiento posible.

En general, los sistemas centrales de calefacción incluyen una caldera de generación de agua caliente o el servicio de agua caliente está incluido dentro de la capacidad de la caldera de calefacción. Es recomendable separar los servicios de agua caliente de los de calefacción, pues en el año, solo se necesita calefacción unos 100 días. El resto del año los servicios están superpuestos. La utilización de una caldera para ambos, obliga a prender quemadores sobredimensionados y a calentar enormes masas de hierro. Es mejor usar dos calderas, una para cada aplicación.

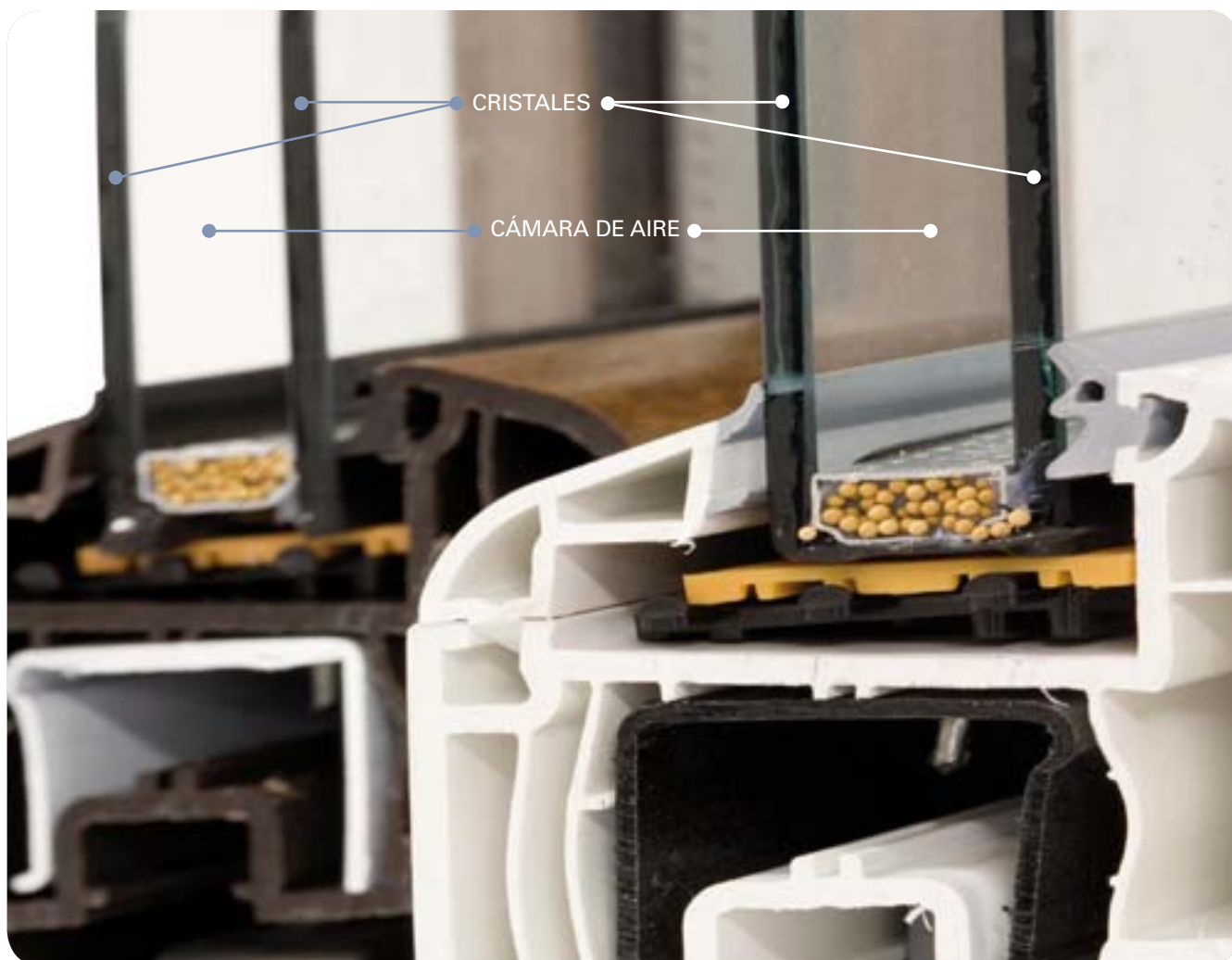
Desde hace unos años, existe la posibilidad de adquirir equipos altamente eficientes de calefacción llamados bomba de calor, que además sirven igualmente para la refrigeración de las estancias. El funcionamiento de estos equipos se basa en impulsar calor desde el exterior al interior utilizando los fenómenos de la evaporación y la condensación de gases en un circuito de compresión frigorífica. Este proceso origina el transporte de calor desde el exterior al interior, con una altísima eficiencia: por cada kilovatio entregado a la máquina ésta devuelve 2,5 kW con el consiguiente ahorro. Por una unidad de energía entregada se han obtenido dos veces y media más. El funcionamiento en el caso de la refrigeración es el contrario, lo que se trata es de sacar el calor del interior de las estancias. El principal inconveniente de este sistema es el uso de electricidad para la calefacción, que de por sí es intrínsecamente costosa.



Suelo radiante.

### 2.1.1. Buenas prácticas en instalaciones de calefacción

- Un hogar bien aislado reduce los costes de calefacción entre un 20% y un 40%, a la vez que disminuye la necesidad de refrigeración en verano.
  - Es recomendable abrir las persianas y las contraventanas durante las horas soleadas para aprovechar el calor del Sol. Durante la noche, en cambio, es mejor cerrarlas para que no se pierda el calor interior.
  - Las cortinas en ventanas y balcones evitan pérdidas de calor, aunque éstas no deben revestir ni cubrir los radiadores de la calefacción.
  - La instalación de burletes adhesivos en puertas y ventanas mejora el aislamiento, reducen entre un 5% y un 10% la energía consumida. Las dobles ventanas o acristalamientos permiten ahorrar hasta un 20% de energía en climatización.
- Es necesario mantener limpias las superficies de los radiadores. No se deben cubrir nunca, ni situar muebles u obstáculos que dificulten la transmisión de calor.
  - Es recomendable utilizar termostatos y relojes programables para regular la temperatura de la calefacción. En invierno lo ideal es mantener la temperatura entre 19 °C y 20 °C durante el día, siempre que el hogar esté ocupado. Durante la noche o con la vivienda desocupada, la calefacción se debe mantener a unos 16 °C o 17 °C. La reducción de la temperatura en un grado supone un ahorro de energía de un 8%.
  - Mantener cerrados los radiadores de las habitaciones que no se ocupen.
  - Por otra parte, en verano, la temperatura óptima es de unos 25 °C. Cada grado por debajo supone un consumo entre un 6% y un 8% más de energía.



Sección de ventana con doble cristal.





En verano, la temperatura óptima es 25 °C.

- Es aconsejable reducir el nivel de la calefacción en aquellas zonas en las que no se necesite un nivel de calefacción alto.
- Mediante la instalación de bombas de calor se consiguen ahorros tres veces mayores de energía que un radiador eléctrico y además pueden ser utilizadas también como sistemas de refrigeración.
- El radiador eléctrico es el sistema menos eficiente de calefacción. Hoy en día, existen radiadores denominados emisores termoeléctricos, que emiten el calor a través de un fluido térmico que optimiza la difusión y mejora el rendimiento del equipo. Ésto, unido a la utilización de programadores, ayuda a reducir el consumo energético de esta tecnología cuando no es posible emplear otra alternativa más eficiente.
- En superficies grandes, es necesario ajustar los termostatos y controles de los radiadores para obtener la temperatura deseada y sellarlos con tapas antimaniulación.
- Deben ajustarse periódicamente los termostatos.

No obstante, no sólo se consiguen ahorros con la realización de las recomendaciones anteriores, sino que hay veces que es necesario realizar modificaciones relativamente importantes en las instalaciones ya existentes, y consecuentemente, éstas llevan asociados unos costes mayores. Entre estas posibles modificaciones de las instalaciones más rentables se encuentran las siguientes:

- Sustitución de aquellos equipos que no permiten obtener un rendimiento correcto de la instalación. Entre estas modificaciones se puede hablar de la

sustitución de elementos defectuosos, como pueden ser quemadores o, incluso, la sustitución de la propia caldera, por una más eficiente, energéticamente hablando.

- Es posible la adaptación de las calderas para que consuman gas natural. El gas natural presenta menor coste que el gasóleo, además de que el rendimiento energético de las calderas de gas es superior al de las calderas de gasóleo.
- En el ámbito medioambiental, el gas natural es un combustible más limpio y respetuoso con el medio ambiente. Su uso reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, y al no poseer azufre en su composición, se eliminan las emisiones de SO<sub>2</sub>.
- Es conveniente la instalación de calderas de condensación o de baja temperatura, ya que las convencionales trabajan con temperaturas de agua caliente entre 70 °C y 90 °C y con temperaturas de retorno del agua superiores a 55 °C. En cambio, una caldera de baja temperatura está diseñada para aceptar una entrada de agua a temperaturas inferiores a los 40 °C. Por ello, los sistemas de calefacción a baja temperatura tienen menos pérdidas de calor en las tuberías de distribución que las calderas convencionales.
- Además, las calderas de condensación están diseñadas para recuperar más calor del combustible quemado que una caldera convencional y, en particular, recupera el calor del vapor de agua que se produce durante la combustión de los combustibles fósiles, por lo que se consiguen rendimientos energéticos más altos, en algunos casos superiores al 100%, referido al poder calorífico inferior del combustible.

### 2.1.2. Mantenimiento de los sistemas de calefacción

Es necesario realizar un mantenimiento preventivo de los elementos que componen la instalación para que ésta funcione adecuadamente y con el menor consumo de energía posible. Se exponen a continuación algunas de las acciones que se deben efectuar en los equipos.

- **Caldera.** La finalidad de la caldera es calentar el agua que circulará por los elementos emisores, radiadores o suelo radiante. Dado que se trata de un elemento principal del sistema ha de encontrarse en perfecto estado. Para ello, es recomendable contratar un servicio periódico de mantenimiento.

De igual modo, es conveniente realizar una revisión de las juntas de las puertas, registros y cajas de humos para asegurar la estanqueidad y evitar la entrada de aire indeseado. Estas entradas de aire incontroladas disminuyen el rendimiento de la combustión, con el correspondiente incremento del consumo de energía.

Cuando se realice la revisión periódica de las calderas, es también recomendable llevar a cabo un análisis de la combustión, para ver si la caldera o calderas están funcionando en condiciones óptimas de rendimiento.

- **Radiadores.** Al igual que en las calderas y demás elementos que forman parte de la combustión, en los radiadores también se deben realizar operaciones de mantenimiento.

Por ejemplo, es necesario purgar los radiadores antes de encender la calefacción, ya que éstos han podido llenarse de aire durante el período en el que no se han utilizado. La presencia de aire disminuye el coeficiente de transmisión del calor y puede interrumpir la circulación del agua con la aparición de ruidos en los radiadores.

También debe comprobarse que las válvulas de los radiadores funcionan bien, y que las válvulas motorizadas funcionan correctamente, ya que si las válvulas no cierran de forma adecuada se perdería la funcionalidad de las mismas.

Además, se debe realizar una limpieza periódica de las superficies calefactoras, ya que la suciedad acumulada aumenta el ciclo de precalentamiento.

Por último, los radiadores han de ubicarse adecuadamente, para así aprovechar las corrientes y generar una mejor distribución de calor en las instalaciones

## 2.2. Instalaciones de producción de agua caliente sanitaria

### 2.2.1. Generalidades y tipos de sistemas

Del total del dinero gastado en una casa en gas u otro combustible, el calentamiento de agua se lleva el 70% fuera de la temporada invernal. La elevación del nivel de vida ha hecho que la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) sea una de las instalaciones vitales en la edificación, por lo que no se concibe actualmente un edificio ni una vivienda que no posean este servicio dentro de su equipamiento mínimo. Estos sistemas de producción deben adaptarse a las necesidades de confort e higiene exigidos por los usuarios.

Dentro de los diferentes tipos de instalaciones que se pueden encontrar para la producción de ACS, existen algunos criterios que posibilitan su clasificación.

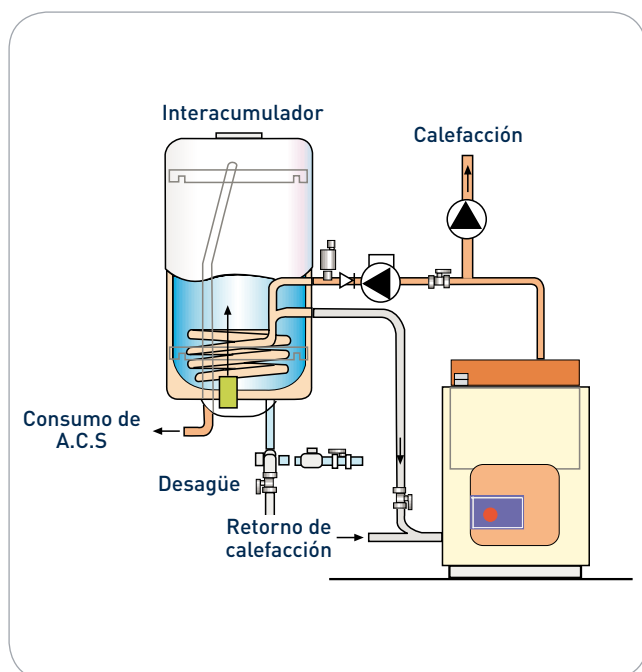
- Según el número de unidades de consumo que atiende, se pueden clasificar en instalaciones individuales (si atienden a un único usuario, por ejemplo, a una sola vivienda), o en instalaciones centralizadas (si atienden a la demanda originada por varios usuarios distintos, por ejemplo, un edificio de viviendas). Éstas últimas ofrecen la ventaja de ser susceptibles de automatización, y por tanto, de optimización del funcionamiento, lo que conlleva un ahorro de energía y de costes de mantenimiento.
- Según su función, se pueden encontrar instalaciones exclusivas (en las que la caldera o generador de calor sirve sólo para la producción de ACS), o mixtas (cuando la caldera o generador sirve tanto a la instalación de ACS como a la de calefacción).
- Según el sistema empleado para la preparación del ACS, encontramos sistemas instantáneos (donde se produce exclusivamente el caudal demandado en cada instante, por ejemplo, un pequeño calentador de gas) o sistemas con acumulación (en que se prepara previamente al consumo una determinada cantidad de ACS, que es acumulada en un depósito y posteriormente distribuida de acuerdo con la demanda, por ejemplo un termo eléctrico).

Según el tipo de instalación de la que se dispone, se pueden obtener una serie de ventajas que afectan al consumo, a la inversión inicial, a los costes de mantenimiento o al rendimiento, entre otros factores.

Por ejemplo, en los sistemas de producción instantánea, la potencia térmica de la instalación se determina atendiendo al máximo caudal demandado. En los sistemas con acumula-

ción, este consumo punta se atiende con la reserva acumulada con anterioridad, y la potencia térmica necesaria disminuye al aumentar el tiempo de preparación. Además, en estos sistemas con acumulación, el coste del depósito acumulador puede compensarse por la disminución del tamaño requerido para el generador de calor y por el mejor rendimiento que determina el funcionamiento más continuo de éste.

Otra ventaja que ofrecen los sistemas de acumulación frente a los sistemas instantáneos es que en estos últimos sistemas, el agua alcanza la temperatura deseada en el punto de destino, y se desperdicia una cantidad considerable de agua y energía, tanto más cuanto más alejado se encuentre el generador de los puntos de consumo. De igual forma, los sistemas instantáneos conllevan la puesta en marcha de la caldera cada vez que se demanda agua, y estos continuos encendidos y apagados incrementan el consumo, así como el deterioro de los equipos.



### Sistema por acumulación.

El uso de sistemas de producción instantánea en los sistemas centralizados de producción de ACS deberá justificarse en función del perfil de la demanda, la adecuada atención al servicio y el uso racional de la energía.

Por otro lado, en la producción de ACS no es necesario calentar agua a temperaturas mayores de 60 °C. Existe la costumbre muy difundida de calentar el agua en calderas muy por encima de la temperatura de utilización y luego mezclarla con agua fría a la salida del grifo. Esto es totalmente innecesario, puesto que es necesario cubrir las

pérdidas de calor dentro de las tuberías. Es altamente deseable que en la caldera no se caliente el agua a niveles que requieran la mezcla, pues ésta no solo desperdicia energía térmica de la caldera sino eléctrica de las bombas de agua.

### 2.2.2. Buenas prácticas en la producción de agua caliente

El consumo energético para la producción de ACS depende en gran medida de las dimensiones de los edificios o viviendas. Independientemente del porcentaje que la producción de agua caliente suponga para el consumo total energético del edificio o de un hogar, es necesario tener en cuenta una serie de medidas de ahorro y buenas prácticas en estas instalaciones de generación.

La primera medida de ahorro de energía en una instalación de producción y distribución de agua caliente sanitaria consiste en limitar las temperaturas máximas de almacenado y distribución para reducir las pérdidas térmicas del conjunto de la instalación.

La temperatura máxima de acumulación del agua caliente sanitaria debería ser de 58 °C y debería distribuirse a una temperatura máxima de 50 °C, medida a la salida de los depósitos acumuladores; esta última medida se realiza para disminuir las pérdidas de calor en las tuberías de distribución.

En los depósitos de acumulación, la temperatura se limita a 58 °C ya que, para temperaturas superiores, el tratamiento de galvanizado de depósitos y tuberías se vería afectado, además de favorecer la formación de cal. Por otro lado, a temperaturas inferiores a los 58 °C se facilita el crecimiento de Legionella.

También en relación con la distribución del agua caliente, hay que tener en cuenta el recorrido que debe realizar el agua desde el punto de generación hasta el punto de consumo, ya que las tuberías por las que transcurre deben estar perfectamente aisladas (así como los depósitos de almacenamiento) para que se pierda la menor cantidad de calor posible, pero aunque la calidad del aislante sea elevada, al final se producen pérdidas y cuanto más largo sea el recorrido, más pérdidas hay, por lo que lo más adecuado es que dicha distancia sea lo más corta posible. Como acción economizadora, puede individualizarse la producción y distribución del agua caliente de los locales que se encuentren alejados de la central térmica.

Además de estas medidas, deben señalarse diferentes acciones economizadoras sobre la instalación del agua caliente sanitaria:

- Es importante señalar que una ducha gasta de 30 litros a 40 litros de agua, cuando un baño necesita entre 120 litros y 160 litros, con el consiguiente gasto adicional de combustible.
- Un grifo abierto drenando agua caliente sin ningún objetivo más que la relativa comodidad de no cerrarlo, es una de las mejores formas de derrochar nuestro dinero.
- Las pérdidas térmicas horarias globales del conjunto de las conducciones que discurren por locales no acondicionados térmicamente no deben superar el 5% del la potencia útil instalada.
- Hay que establecer correctamente las dimensiones del depósito de almacenado, ya que la capacidad de acumulación se debe calibrar de manera que el calentamiento de todo el volumen se produzca, como mínimo, en tres horas; así, el generador de calor trabaja a la máxima potencia durante un periodo de tiempo más largo, y se reduce el número de paradas y arranques.
- Es conveniente sustituir las partes obsoletas de la instalación (calderas, quemadores, intercambiadores).
- Limpiar las superficies de intercambio y evitar la obstrucción de los intercambiadores.
- Utilizar técnicas de recuperación del calor del agua una vez utilizada (recuperadores de placas, de tubos, etc.) y considerar la aplicación de técnicas energéticas avanzadas como la bomba de calor (de la que se hace un estudio detallado en el apartado de calefacción), energía solar, etc.
- Reducir las pérdidas del intercambiador, del depósito de almacenaje y de las tuberías de distribución, aislándolas adecuadamente, con lo que se reduce en un 10% - 30% el consumo de energía para agua caliente sanitaria.
- Se recomienda la instalación de dos bombas de retorno cuando la potencia de bombeo sea superior a 5 kW. Estas bombas se montarán en paralelo y una de ellas queda de reserva.



Instalación solar térmica para abastecimiento de agua caliente en una vivienda.

## 2.3. Instalaciones de refrigeración

### 2.3.1. Generalidades

Tradicionalmente, los equipos de aire acondicionado utilizaban como fuente energética la electricidad. En la actualidad, existen sistemas de refrigeración que demandan una fuente de calor en lugar de electricidad, entre las que se cuentan el vapor y el gas natural, así como combustibles líquidos y hasta existe la posibilidad de usar gases de escape de motores y chimeneas. Estos sistemas se denominan sistemas de absorción y presentan una excelente posibilidad para consumir menor cantidad de energía que en un sistema eléctrico. Los nuevos modelos de máquinas han aumentado la capacidad de producción de frío por unidad de energía consumida. Además, es posible diseñar sistemas que trabajan en cascada partiendo desde las altas temperaturas y aprovechando los escapes de las máquinas de la etapa superior para recuperar energía. Con este método, las eficiencias se pueden aumentar de forma considerable y es posible llegar a valores hasta ahora desconocidos. En general, las pautas de ahorro en aire acondicionado pasan por un diseño del sistema que no considera los consumos pico.

Uno de los errores que se comete comúnmente en el diseño de estos equipos, es el sobredimensionado de la instalación, es decir, los equipos se diseñan para que cubran situaciones extremas, de forma que si ocurriesen situaciones anómalas el sistema seguiría funcionando. Este sobredimensionado origina una instalación poco eficiente porque las máquinas no trabajan al 100%, y presenta un gran consumo. Es mejor hacer funcionar a plena carga un equipo de menor tamaño, por ejemplo diseñado para cubrir solo el 5% de los casos de altas temperaturas. Otra pauta significativa de ahorro es el uso intensivo de aire exterior en condiciones de temperaturas bajas que hagan posible la inyección de aire sin tratar.

Es conveniente tener en cuenta que una unidad de aire acondicionado que sea muy grande para el lugar que supuestamente debe enfriar será menos efectiva y funcionará con menor eficiencia que una unidad que sea más adecuada para ese espacio.

El funcionamiento por períodos más largos de tiempo permite que los equipos de aire acondicionado mantengan una temperatura de ambiente más constante y remuevan el exceso de humedad.

El tamaño también tiene igual importancia en los sistemas de aire acondicionado central, y debe ser determinado por los profesionales del ramo. Hay que ajustar los controles

para que el ventilador se apague al mismo tiempo que la unidad de enfriamiento (compresor).

Finalmente, el diseño y la construcción del edificio son los principales responsables de los altos consumos de aire acondicionado. Quienes acudan al empleo masivo de vidrios, prohíban o restrinjan la utilización de aislantes y dispongan con libre albedrío sobre temas referidos a orientación, calefacción, etc., están adquiriendo, tal vez sin saberlo, una hipoteca de por vida sobre el edificio.

En fábricas y edificios en los que las cargas térmicas por aporte de motores y procesos industriales sean muy altas, el mejor remedio es un buen aislamiento del elemento, con extracción independiente del calor, enviándolo hacia el exterior en lugar de aumentar el tamaño de los equipos de aire acondicionado.

### 2.3.2. Buenas prácticas en los sistemas de refrigeración

- No ajustar el termostato a una temperatura más fría de lo normal cuando se enciendan los equipos de aire acondicionado. Esto no hará que la casa se enfríe más rápido y podría causar un enfriamiento excesivo y, por lo tanto, un gasto innecesario.
- No colocar lámparas o televisores cerca del termostato del aire acondicionado. El termostato detecta el calor de estos aparatos, lo que puede hacer que el aire acondicionado funcione más tiempo del necesario.
- Plantar árboles o arbustos para darles sombra a las unidades de aire acondicionado, pero que no bloqueen el flujo de aire. Colocar el aire acondicionado del cuarto en el lado norte de la casa. Una unidad que opera a la sombra utiliza casi el 10% menos de electricidad que una unidad similar.
- Ajustar el termostato a una temperatura alta, pero lo más cómoda posible, durante el verano. Cuanto menor sea la diferencia entre la temperatura en el termostato y la temperatura del exterior, mejor resultará el rendimiento final del sistema. Se debe tener en cuenta que aislar y sellar las fugas de aire ayudará a utilizar mejor la energía en la época de verano porque mantiene el aire frío en el interior de la casa.

Al igual que se ha comentado en el apartado de calefacción, existen los mismos factores que influyen en el ahorro de energía en los equipos de aire acondicionado, desde el aislamiento hasta el correcto uso de los equipos. A continuación se presentan algunas recomendaciones para aumentar el rendimiento de las instalaciones y conseguir un ahorro económico.

### Recomendación desde el punto de vista constructivo

Estas medidas son semejantes a las mencionadas para la calefacción, y es muy importante el aislamiento para reducir la entrada de aire caliente lo que permite ahorros de hasta un 30%. Otras prevenciones que se pueden llevar a cabo con los sistemas de aire acondicionado son:

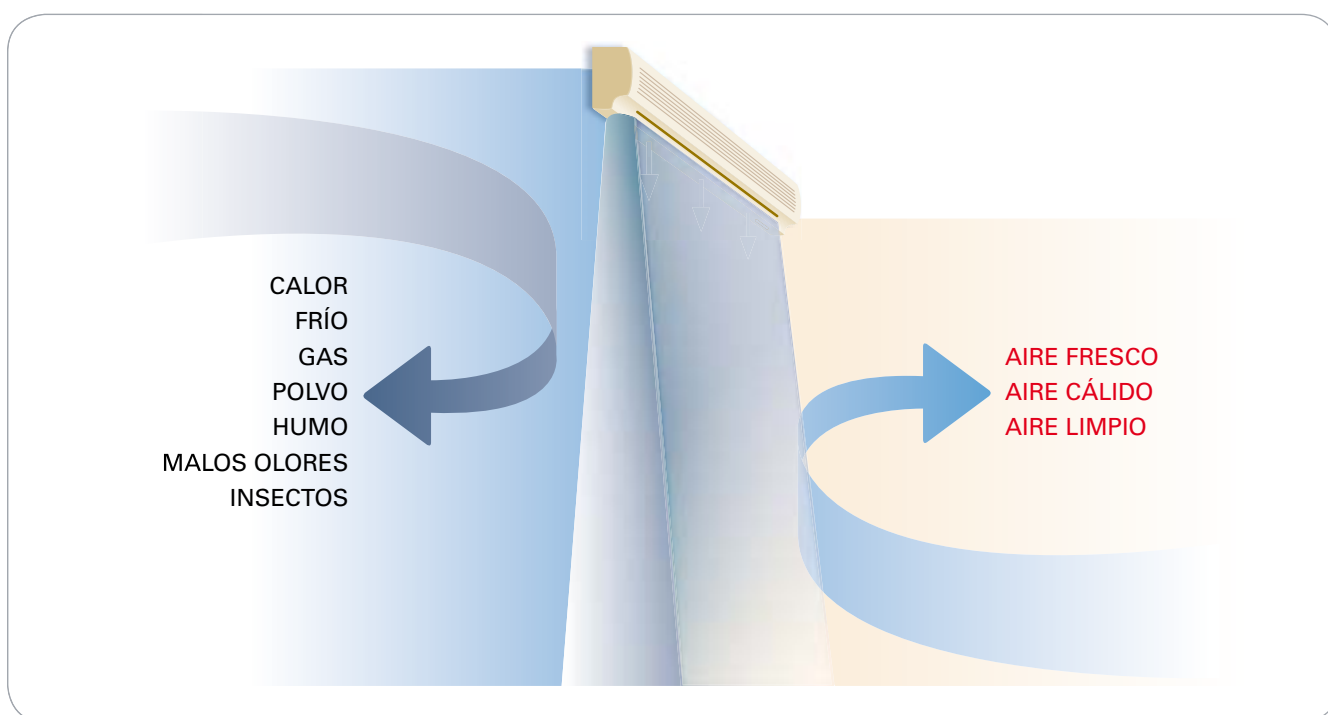
- La utilización de protecciones solares como persianas, toldos o cortinas, son un buen sistema para reducir la ganancia solar en verano. Existen diferentes tipos de protecciones, y es más adecuado un tipo u otro en función de la orientación.
- Si la orientación es sur las más adecuadas son las protecciones solares fijas o semifijas, mientras que para oeste o noreste se recomienda el uso de protecciones solares con lamas horizontales o verticales móviles. Para la orientación este u oeste se recomiendan protecciones móviles.
- En los edificios y locales con fachadas ventiladas de cristal o que presenten muchas zonas acristaladas, se pueden utilizar vidrios polarizados o colocar películas reflectoras que reducen la transmisión de calor y dejan pasar la luz necesaria, proporcionando ahorros de un 20% del gasto de aire acondicionado.
- Es interesante aprovechar sistemas de aportación de climatización natural: los sistemas de pulverización de agua en plantas colocadas en el interior del edificio pueden considerarse como sistema para

producir refrigeración (mejor si va acompañado de un sistema de ventilación). Las plantas en el interior de los edificios crean microclimas que pueden resultar adecuados para la refrigeración y aireación del edificio.

- Los colores claros en techos y paredes exteriores reflejan el sol y evitan el calentamiento de los espacios interiores.
- Aislar adecuadamente los conductos.

### Recomendaciones desde el punto de vista de la utilización de los sistemas

- Parcialización de la producción de frío para que la producción de este se adapte al perfil de la demanda.
- La zonificación es un requisito indispensable, ya que han de refrigerarse sólo los locales y zonas que estén siendo ocupadas.
- Es importante mantener en todo momento las condiciones ambientales de cada zona en los valores de confort.
- Deben elegirse equipos acondicionados de alta eficiencia energética, es decir, aquellos equipos que con el mismo nivel de prestaciones lleguen a consumir hasta un 50% menos de energía que otros y según las necesidades de la zona donde se van a ubicar.



Cortinas de aire.



Termostato.

- El equipo exterior del aire acondicionado debe estar situado en una zona con buena circulación de aire y protegido de los rayos del sol.
- Regular la temperatura de cada una de las estancias mediante termostatos. Debe evitarse que éstos se encuentren próximos a las fuentes de calor.
- En aquellas salas en las que conjuntamente estén instaladas las unidades de calefacción y aire acondicionado, sus ajustes deben estar calibrados para evitar que funcionen simultáneamente. Se deben ajustar los termostatos en 25 °C o más para el enfriamiento y entre 20 °C y 22 °C o inferior para la calefacción. Para evitar conflictos en el funcionamiento, las unidades en la misma zona tienen que ajustarse al mismo modo de operación (o calefacción o enfriamiento).
- En relación con lo anterior, no es conveniente regular el termostato por debajo de los 25 °C, ya que no es confortable y supone un gasto de energía innecesario, ya que por cada grado menos de temperatura, el consumo energético aumenta entre un 5% y un 7%. Por lo que se aconseja fijar una temperatura de confort de alrededor de 25 °C según el tipo de actividad y necesidades para el verano.
- Por otra parte, una diferencia de temperatura con el exterior de más de 12 °C, no es saludable.

- Apagar los equipos de aire acondicionado cuando las dependencias queden vacías.
- Es recomendable repartir correctamente el frío, evitando corrientes de aire muy frías y otras demasiado calientes.

#### Recomendaciones para la elección de nuevos sistemas

A continuación van a exponerse varias medidas de nueva instalación, para tratar de mejorar las condiciones de refrigeración.

- Instalación de acumuladores evaporativos: este tipo de sistemas mejoran la ventilación y suponen una alternativa razonable a la utilización del aire acondicionado. Consisten en paneles que hacen pasar el aire a través de una corriente de agua, lo que además de reducir la temperatura (se puede llegar incluso a 7 °C) también incrementan el grado de humedad.
- Este sistema es adecuado en aquellos locales en los que el techo tenga salida directa al exterior, y en climas calurosos y secos, ya que el aire exterior será relativamente seco.
- Instalación de cortinas de aire en las entradas/salidas del local: se trata de elementos que, colocados en la parte superior de las puertas, proyectan una corriente de aire hacia abajo que ocupa toda la abertura, y crean una barrera de forma que impide la entrada de aire exterior y la salida del aire climatizado.
- Dado que toda puerta que comunique una zona climatizada con otra que no lo está favorece el intercambio de temperatura entre el exterior y el interior, este tipo de dispositivos consiguen la reducción de este intercambio, y evitan el consumo de energía necesario para contrarrestar las pérdidas producidas por el mencionado intercambio.

Al igual que ocurre con los aparatos de calefacción, es necesario realizar un mantenimiento preventivo de los elementos que componen las instalaciones de aire acondicionado para que éstas funcionen adecuadamente y con el menor consumo de energía posible.

A continuación se exponen una serie de medidas de mantenimiento:

- Limpiar periódicamente los filtros de aire y cambiarlos cuando sea necesario, ya que los filtros bloqueados reducen sensiblemente las prestaciones de estos equipos. Instalar manómetros para detectar el momento en el que conviene efectuar esta operación.

- Debe verificarse que el funcionamiento de los convectores es el adecuado, asegurándose de que los ventiladores funcionan correctamente para cada velocidad y que la regulación es correcta.
- Verificar las unidades terminales (fan-coils, inductores, difusores, etc.) y comprobar que no hay objetos que frenen el paso del aire. Comprobar que las válvulas cierran perfectamente cuando el termostato lo ordena.
- Comprobar la correcta posición y limpieza del tubo de condensación, ya que su obturación disminuye la eficiencia.
- Limpiar los evaporadores (unidades interiores).
- Revisar las juntas, los instrumentos y otros posibles lugares de pérdidas del circuito.
- Es recomendable verificar las presiones del circuito.

### 2.3.3. Mantenimiento de los equipos de refrigeración

La ventilación de los locales es muy necesaria para mantener un ambiente salubre, es decir, debe reponerse el oxígeno y evacuar la concentración de los subproductos de la actividad humana, tales como anhídrido carbónico, dióxido de carbono y otros compuestos no deseados.

### 2.4. Instalaciones de ventilación

La ventilación de un local puede ser natural o forzada. Se habla de ventilación natural cuando no hay aporte de energía para lograr la renovación de aire, comúnmente, la ventilación natural se consigue dejando aberturas en el local (puertas, ventanas, lucernarios, etc.) que comunican con el ambiente exterior. En cambio, la ventilación forzada utiliza ventiladores para conseguir la renovación.



Ventilación forzada en estación de metro.



Además, los sistemas de ventilación influyen en las instalaciones de la calefacción y la refrigeración.

- Es recomendable la instalación de clavetas de cierre en los ventiladores, ya que el aire frío del exterior puede entrar cuando los ventiladores no estén funcionando, y producir una pérdida de aire caliente.
- Deben tenerse controlados los extractores de zonas tales como servicios y cocinas (en el caso de existir estas últimas), ya que el funcionamiento de los extractores cuando no hay gente en el recinto no es necesario, además de suponer un despilfarro de dinero. También debe tenerse en cuenta que al extraer aire caliente del edificio, el sistema de calefacción tiene que trabajar más.
- En aquellos edificios con espacios de doble altura, debe comprobarse la diferencia de temperatura entre el nivel del suelo y el del techo. Si la diferencia es excesiva (más de 5 °C) es recomendable instalar un ventilador de desestratificación equipado con un termostato que envíe el aire caliente a los niveles más bajos, ya que este sube y se acumula en la parte alta donde no es necesario.
- Las grandes diferencias de temperatura aumentan las pérdidas térmicas a través del techo.
- Si hay máquinas equipadas con extractores, es recomendable colocarlas cerca de las paredes externas. De esta manera se facilita la instalación de la entrada de aire fresco cerca del extractor. Estas entradas previenen las corrientes y la incomodidad en la zona principal y reducen las pérdidas de aire caliente. Además, debe considerarse recuperar el aire caliente de los conductos de extracción.
- Deben realizarse mediciones en los flujos de ventilación buscando las oportunidades para reducirlos, ya que es común encontrar excesivos niveles de ventilación, lo que representa un derroche de calor y electricidad.
- Siempre que sea posible, es importante modificar el sistema de ventilación general para incorporar la recirculación de aire extraído. Calentar aire fresco es costoso, por lo que es conveniente recircular aire introducido del exterior.
- Es recomendable realizar un control del aire de ventilación según el grado de ocupación: la mayoría de los sistemas de ventilación son diseñados para asegurar la ventilación en la máxima ocupación, además en la selección de los equipos se utilizan factores de seguridad que aumentan el caudal de renovación.

- Tratar de regular el aire de ventilación según el grado de ocupación, utilizando para ello sensores indicadores de CO<sub>2</sub>, cuya señal graduará la apertura o cierre de las compuertas de entrada de aire exterior, con lo que se consigue reducir la cantidad de aire que finalmente deberán tratar los equipos de climatización, con lo que se reduce el consumo de estos.

## 2.5. Instalaciones de iluminación

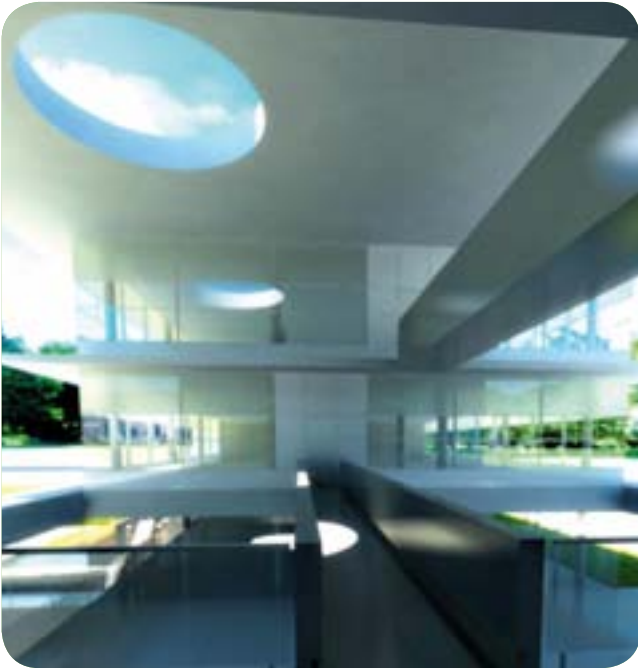
La iluminación representa un peso muy importante en el consumo energético total de las viviendas, ya que alcanza un 7%, y los sistemas actualmente instalados ofrecen una gran posibilidad de mejora, puesto que se pueden lograr ahorros de más del 40%.

Además del gran potencial de mejora que ofrece la iluminación, el hecho de que sea algo común para todos los usuarios abre unas posibilidades muy altas para llevar a cabo medidas de ahorro. Estas medidas pueden ser, por ejemplo, el empleo de luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta relación lumen/vatio, o el empleo de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades de las estancias que se va a iluminar. Mediante actuaciones de este tipo se consigue mantener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

Otro aspecto importante para reducir el consumo en iluminación es el aprovechamiento de la luz solar. La iluminación natural debe provenir del Sol, o del cielo, que es un elemento natural difusor de la luz, y para su aprovechamiento adecuado es preciso contar con ventanas o aberturas suficientes en lugares estratégicos. No obstante, hay que tener en cuenta que no siempre se cuenta con luz natural para ser utilizada, por lo que no se pueden sustituir totalmente los sistemas de iluminación artificial de las viviendas. Para conseguir un sistema realmente eficiente, es necesario encontrar el equilibrio entre el aprovechamiento de la luz natural y el uso de los sistemas artificiales, lo que se puede lograr mediante el uso de sistemas de gestión y control de la luz artificial, y a través de la sensibilización de todos.

La iluminación no tiene mucha relación con los vatios que consumen las lámparas. En general, esto depende de la calidad del elemento y del principio de funcionamiento de las lámparas.

Por ejemplo, las lámparas de filamento o incandescentes tienen la más baja de las eficiencias (alrededor del 3%) y con lámparas de gran potencia la eficiencia aumenta poco. Esto significa que solo tres partes de cada cien son convertidas en luz útil. El resto se pierden en forma de calor. Por otro lado, los tubos fluorescentes tienen una eficiencia mayor



**Aporte de luz natural por medio de la cubierta y de las paredes acristaladas.**

(alrededor del 9%), que en términos de iluminación significa que a igual gasto se obtiene un nivel de iluminación tres veces superior al que se logra por medio de lámparas incandescentes.

Las lámparas de descarga, del tipo mercurio o sodio son igualmente más eficientes, ya que alcanzan valores de hasta el 11%. No obstante, el problema de estas lámparas es la coloración de su luz, tan apartada de la luz solar que las torna inútiles en el interior de las viviendas, por lo que su empleo se ha ligado a la iluminación de exteriores, debido además a su alto poder lumínico, menor consumo y mayor vida útil.

Por tanto, la planificación de los sistemas de iluminación es importante a la hora de alcanzar ahorros de energía. El mejor diseño de estos sistemas es colocar equipos que provean la máxima iluminación necesaria para la actividad a la que se destina cada estancia.

Otro punto que se debe tener en cuenta en la iluminación de las viviendas es la distribución de las llaves de luz. La disposición de estas llaves debe ser planificada con antelación, de forma que faciliten el control de las luces por áreas o estancias, para que se pueda apagar total o parcialmente el sistema cuando no se estén utilizando esas zonas.

Finalmente, aunque puede parecer poco significativo, es necesario mantener las lámparas y luminarias limpias, evitando la acumulación de polvo y suciedad en sus superficies. De esta forma, se pueden alcanzar unos niveles de iluminación hasta un 25% superiores, lo que reduce la nece-

sidad de mantener encendidos más puntos de luz de los requeridos y alargan la vida media de la lámpara.

Al igual que sucede con los electrodomésticos, gasodomésticos, sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, etc., es posible reducir el consumo llevando a cabo pequeñas mejoras y recomendaciones.

Estas mejoras y recomendaciones pueden estar orientadas a las lámparas, a las luminarias, a los equipos auxiliares o incluso a los sistemas de regulación y control, y todas ellas están orientadas al uso eficiente y racional de la energía.

### 2.5.1. Buenas prácticas en el uso de las lámparas

- En las estancias donde la iluminación esté basada en lámparas fluorescente de 38 mm, se recomienda sustituirlos por lámparas de 26 mm o 16 mm, ya que son más eficaces. Los tubos fluorescentes de 26 mm producen la misma luminosidad que los de 38 mm, pero consumen aproximadamente un 8% menos, mientras que los tubos de 16 mm son aproximadamente un 7% más eficaces que los de 26 mm.
- Es necesario revisar si los proyectores de las lámparas halógenas están encendidos durante largos períodos de tiempo, ya que estos son apropiados para su uso en alumbrados intermitentes.
- Es recomendable la sustitución de lámparas halógenas convencionales (50 W) y sus transformadores electromagnéticos (10 W) por otras de alta eficacia (35 W) y transformadores electrónicos (0 W).
- En las zonas donde se requiera un mayor nivel de iluminación, o donde los períodos en las que la necesidad de tener luz encendida sean largos, lo más conveniente es sustituir las lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas con equipo incorporado.
- Estas lámparas consumen en torno a un 80% menos de electricidad que las incandescentes, duran hasta 12 veces más y reducen los costes de mantenimiento, ya que necesitan ser cambiadas con menor frecuencia.

Además, pueden sustituir directamente a las lámparas incandescentes tradicionales al estar equipadas con balasto y casquillo de rosca tipo Edison. Si el balasto es electrónico, las lámparas presentan una mayor eficiencia, un menor peso y un mejor factor de potencia.

- Si el tiempo que van a estar apagadas las lámparas fluorescentes compactas es inferior a 20 o 30 minutos, interesa mantenerlas encendidas, por ser superior el ahorro

Tipo de lámpara	Imagen	Índice de reproducción cromática (0-100)	Vida útil (horas)	Eficacia luminosa (lm/W)	Equipo auxiliar	Observaciones	Coste
Incandescente		100	1.000	9-17	-	Evitar	Reducido
Fluorescente		60-95	8.000-12.000	65-100	Arrancador, balasto y condensador	El balasto electrónico reduce su consumo en un 25%	Reducido
Fluorescente compacta		85	8.000-12.000	45-70	Equipo electrónico incorporado	Retardo en encendido. Las integradas sustituyen directamente a las incandescentes	Medio
Halógena		>90	2.000	15-27	-	Encendido instantáneo. Elevada intensidad luminosa. Corta duración de la lámpara y reducida eficacia luminosa.	Medio
Halógena de bajo consumo		>90	2.000-3.000	18-25	Transformador	Ahorro de un 30% en consumo energético. Mayor vida luminarias y menor calentamiento del ambiente.	Medio

que se consigue por la mayor duración de las lámparas que el costo de energía consumida en dicho período.

- Si la iluminación está basada en lámparas de vapor de mercurio de alta presión, se recomienda su sustitución por lámparas de vapor de sodio de alta presión, ya que estas lámparas poseen mayor eficacia luminosa (lumen/vatio).

### 2.5.2. Buenas prácticas en el uso de las luminarias

Aunque la elección de las luminarias está condicionada en primer lugar por la lámpara y la finalidad de la estancia que se quiera iluminar, se deben considerar aspectos tales como el rendimiento de la luminaria (la relación entre el flujo luminoso proyectado por la luminaria y el flujo emitido por la lámpara o lámparas), la orientación y distribución del flujo luminoso y si produce deslumbramiento o no o el sistema de montaje.

### 2.5.3. Buenas prácticas en el uso de los sistemas auxiliares

Existen lámparas, como por ejemplo las de tipo descarga o inducción, que para su funcionamiento requieren la presencia de equipos externos que adecuen los parámetros de la



Lámparas fluorescentes compactas integradas.

corriente eléctrica para producir la emisión de luz. Estos equipos externos, como es lógico, aumentan el consumo energético de la lámpara, puesto que tienen un consumo propio.

Es posible reducir el consumo energético de las lámparas actuando en los equipos auxiliares, especialmente en el caso de las lámparas fluorescentes. Generalmente, este tipo de lámparas, que en viviendas se suelen usar para el alumbrado

de las cocinas y de los garajes (en el caso de hogares individuales), están equipadas con balastos electromagnéticos, que son poco eficientes.

Es posible sustituir este tipo de balastos por otros más eficientes, denominados balastos electrónicos, que ofrecen las siguientes ventajas respecto a los equipos anteriormente citados:

- Reducción del 25% de la energía consumida por la lámpara.
- Incremento de la vida media de las lámparas hasta el 50%, por lo que se reducen los costes de mantenimiento.
- No es necesario sustituir el cebador cada vez que se cambia la lámpara.
- Reducción de la carga térmica aportada por la lámpara debido a la menor generación de calor.
- Reducción de la temperatura de funcionamiento de la luminaria, lo que facilita que las lámparas no superen su temperatura óptima de trabajo.
- El factor de potencia es corregido a 1, lo cual repercute de forma beneficiosa a la hora de la facturación de la electricidad (en tarifas cuya potencia contratada sea superior a 15 kW).
- El encendido de la lámpara es instantáneo y no produce destellos.
- Se produce la desconexión automática de las lámparas si están defectuosas, impidiendo destellos molestos y recalentamientos de otros componentes del equipo eléctrico.
- La luz es más agradable, ya que no se originan parpadeos ni efectos estroboscópicos.
- Se eliminan los ruidos ocasionados por el equipo eléctrico, tan molestos en el funcionamiento de las lámparas fluorescentes.
- El equipo eléctrico queda protegido contra picos de tensión.
- Ofrecen una mayor seguridad contra incendios, al reducirse la temperatura de funcionamiento del equipo y de la luminaria.
- Permite la conexión a la corriente continua para iluminación de emergencia

#### 2.5.4. Buenas prácticas en el uso de los sistemas de regulación y control

Al igual que con el resto de los elementos que forman parte de una instalación de iluminación, con la realización de unas buenas prácticas en el uso de los sistemas de regulación y control se pueden reducir los consumos energéticos de forma considerable.

Por ejemplo, entre las medidas que se pueden llevar a cabo se encuentran las siguientes:

- Es recomendable utilizar sistemas que regulen la iluminación artificial en función de los niveles de iluminación natural existentes en el interior de las estancias de las viviendas, de forma que se aproveche el mayor número de horas la luz solar.
- Las llaves de la luz de los sistemas de iluminación deben ser suficientes para permitir el encendido y apagado independiente de las diferentes estancias. Incluso es conveniente que, en salas de gran tamaño, exista la posibilidad de dividir el sistema por zonas, de forma que el encendido de la estancia dependa de la ocupación y de su uso en cada momento.

#### 2.6. Eficiencia energética en el uso del vehículo

Desde hace varios años, países como Alemania, Holanda, Suiza y Finlandia vienen desarrollando un programa de conducción económica, denominado Eco Driving. Desde la Unión Europea se pretende implantar este plan en todos los países miembros, con el objetivo de que el conductor ahorre combustible al mismo tiempo que observa una actitud respetuosa con el medio ambiente.

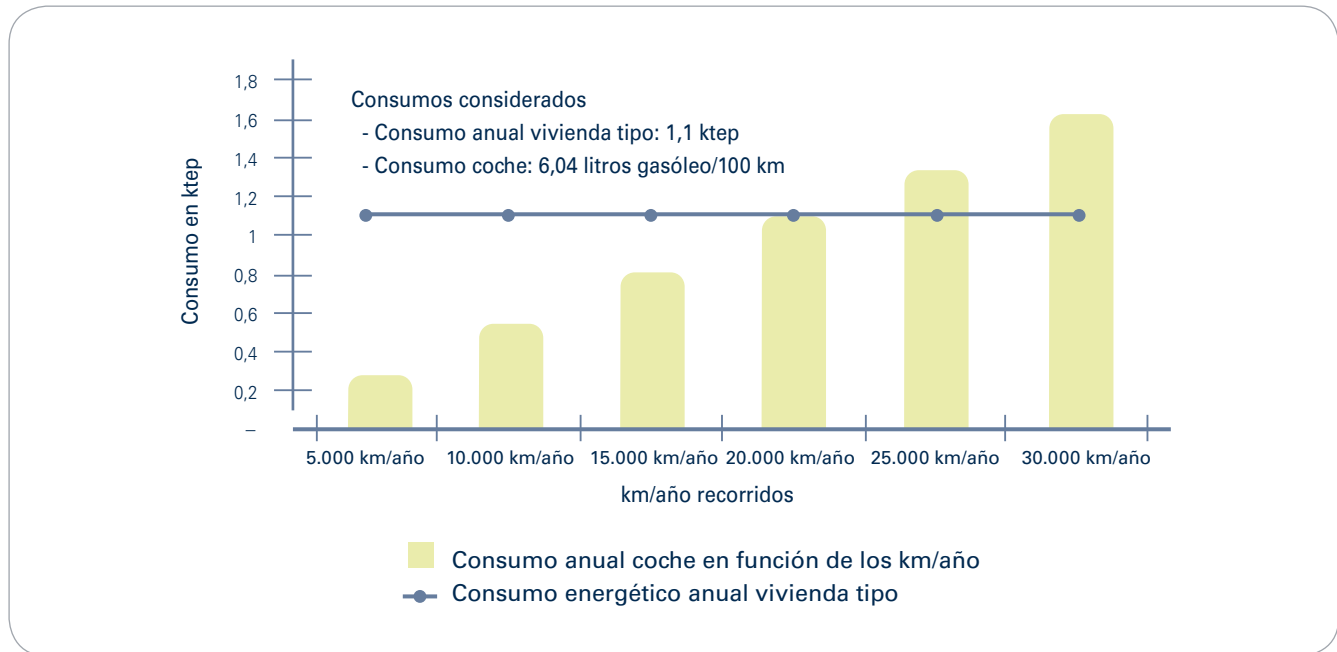
Se calcula que con esta medida, manteniendo los niveles de conducción anuales, se alcanzaría un ahorro de 1.850 millones de euros, equivalentes a unos 700 millones de litros de gasóleo y 1.650 millones de litros de gasolina. Para el usuario se traduciría en un ahorro de 160 euros al año.

Pese a que la importancia de la conducción eficiente se va a tratar con más detalle en el capítulo 7, "Eficiencia y ahorro energético en el transporte. Biocombustibles", se van a dar en el presente capítulo una serie de pautas y recomendaciones básicas de cómo ahorrar energía en el transporte.

Dentro de las acciones que podemos llevar a cabo desde nuestros hogares para reducir el consumo energético, cobra gran importancia la utilización racional y energéticamente eficiente del vehículo doméstico, ya que aproximadamente la mitad de la energía que consumen las familias españolas se destina al coche privado.

FIGURA 1

Consumo comparado de una vivienda con un coche (en función de los km/año recorridos).



Fuente: IDAE

La medida más eficaz para reducir el consumo de energía es utilizar medios de transporte alternativos al coche.

- En trayectos cortos, es posible ir a pie o en bicicleta. En la ciudad, el 50% de los viajes en coche son para recorrer menos de 3 km, con el agravante de que un motor frío puede llegar a utilizar un 40% más de energía de lo usual.
- En otros casos, y sobre todo en la ciudad, la mejor alternativa al coche es el transporte público. Entre las numerosas ventajas de utilizarlo, en lugar del privado, están su menor coste, menor consumo de energía, menos emisiones de gases contaminantes, menor ruido generado y menor congestión del tráfico.

Si la utilización del transporte público no es factible, existen también varias posibilidades para reducir nuestro consumo energético al utilizar el coche. Una de ellas es la de compartir coche.

Aunque la idea de compartir coche surge como algo natural, se puede organizar de forma sencilla cuando los horarios son similares y los puntos de salida y destino están cercanos, como en el caso de viajes de trabajo o estudios. Compartir coche nos permite reducir los gastos por persona asociados al vehículo y al aparcamiento hasta en un 75%, puesto que estos gastos se reparten. Además es otra forma de reducir las emisiones al ambiente.

A la hora de utilizar nuestro coche, es importante tener en cuenta varios aspectos que nos permitirán ahorrar combustible y reducir las emisiones.

- En primer lugar hay que hacer una elección adecuada en la compra del coche, de forma que éste se adapte a nuestras necesidades. Un vehículo nuevo consume aproximadamente un 25% menos que uno de hace 20 años, pero esas ventajas se pierden al comprar coches de gran potencia y cilindrada, con un consumo sensiblemente superior a los demás.
- Durante la vida del vehículo se debe realizar un buen mantenimiento de este, que incluye el diagnóstico del motor en talleres especializados cada cierto tiempo, el control de los niveles, filtros y recambios, y el control de la presión de los neumáticos, lo que además de reducir el consumo de energía nos reportará ahorros económicos y aumentará la seguridad en nuestros viajes.
- Además es muy importante realizar una conducción eficiente, con la que se pueden alcanzar ahorros de combustible del 10% al 15% con sólo seguir unas sencillas reglas, como: planificar la ruta; no dejar el coche a calentar en posición de parado; apagar el motor si se está parado más de 60 segundos; utilizar la primera velocidad sólo para realizar el inicio de la marcha; conducir suavemente con anticipación frente a las situaciones imprevistas del tráfico y sin frenazos

y acelerones innecesarios; circular el mayor tiempo posible en las marchas más largas y a bajas revoluciones; y no circular a velocidades altas, en las que el consumo se dispara.

También hay que tener en cuenta aspectos que penalizan el consumo, como la colocación de bacas portaequipajes u otros accesorios exteriores, la utilización abusiva del aire acondicionado, circular con las ventanillas bajadas o el transporte de pesos innecesarios.

Por tanto, conducir de forma eficiente significa:

- **Decálogo de conducción eficiente**

1. Poner el motor en marcha sin pisar el acelerador. Calentar el motor circulando suavemente.
2. Utilizar la primera velocidad sólo para el inicio de la marcha. Cambiar a 2ª a los dos segundos o seis metros aproximadamente.
3. Realizar los cambios de marchas a bajas revoluciones y acelerar con suavidad después del cambio:
  - a. Entre 1.500 - 2.000 revoluciones por minuto en motores diésel.
  - b. Entre 2.000 - 2.500 revoluciones por minuto en motores de gasolina.
4. Circular en marchas largas y a bajas revoluciones el mayor tiempo posible.
5. Evitar frenazos, aceleraciones y cambios de marcha innecesarios.
6. Frenar de forma suave, con la marcha engranada y reduciendo ésta lo más tarde posible.
7. Detener el coche sin reducir previamente de marcha cuando la velocidad y el espacio lo permitan.
8. Apagar el motor en paradas de más de 60 segundos.
9. Conducir con anticipación y previsión. Mantener la distancia de seguridad.
10. Ante ocasionales emergencias, se deben realizar acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada.

En resumen, es posible ahorrar gran cantidad de energía con sólo cambiar nuestros hábitos de utilización del coche, con el consiguiente beneficio económico, medioambiental

y social que supone. Es interesante, por tanto, tener en mente el siguiente esquema siempre que vayamos a realizar un desplazamiento, para escoger la opción más eficiente:

Siempre que sea posible debemos seguir la opción marcada por las flechas verdes, que nos permitirá alcanzar la posición más alta en el diagrama, correspondiente al mayor ahorro energético. (Ver figura 2).

## 2.7. Equipos eléctricos

### 2.7.1. Equipos de línea blanca

En los hogares españoles funcionan más de 70 millones de electrodomésticos, esos pequeños aparatos que funcionan con energía eléctrica que hacen la vida más fácil, cuyo consumo supone, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), un 16% del consumo eléctrico que se produce en las viviendas españolas. Principalmente, este consumo se debe a los equipos denominados de línea blanca, es decir, los electrodomésticos y gasodomésticos situados en la cocina.

#### Electrodomésticos y etiquetado energético

Debido a la importancia de estos equipos por su consumo, la Comisión Europea propuso, en el año 1989, una iniciativa para contribuir al ahorro energético y evitar el deterioro del planeta: el etiquetado energético.

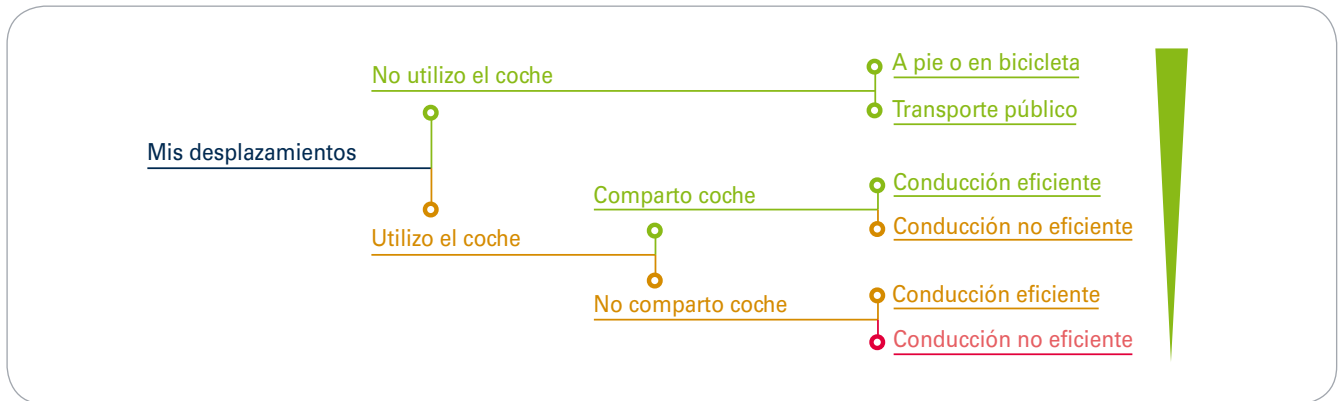
El propósito de esta medida era el de informar a los clientes del consumo de energía del electrodoméstico en el momento de su utilización, generalmente en la forma de uso de la energía, eficiencia y/o costos de la energía. De esta forma, se les permitía poder considerar el ahorro energético como una variable más para la elección de un equipo u otro.

Aunque la normativa sobre etiquetado energético de electrodomésticos data del año 1989, en España no entró en vigor hasta el año 1994. Desde esa fecha, todos los fabricantes han de identificar cada electrodoméstico con un nivel de eficiencia que se indicará con una letra, de la A a la G.

En resumen, este sistema de etiquetado contempla las siguientes valoraciones:

- Es obligatorio para electrodomésticos como frigoríficos, congeladores, lavadoras, secadoras, lavavajillas (y para lámparas de uso doméstico).

FIGURA 2  
Árbol de decisión para el ahorro energético en los desplazamientos.



- Un electrodoméstico es eficiente si ofrece las mismas prestaciones que otros del mismo tipo pero consumiendo menos energía.
- Existen siete clases de etiquetas energéticas que se tipifican, en función de los consumos eléctricos, en diferentes colores y con letras del abecedario de la A (que correspondería a la clase más eficiente) hasta la G (vinculada a la menos eficiente).
- Las etiquetas sólo son comparables dentro de un mismo grupo de electrodomésticos.
- A la hora de asignar las distintas etiquetas energéticas, se midió el consumo anual de cada tipo de

electrodoméstico, y al consumo medio se les asignó el punto intermedio entre las letras D y E.

- La diferencia de precio entre un aparato de la clase A y otro de la clase C se amortiza en cinco años, gracias a su menor consumo.

La asignación de estas etiquetas a los electrodomésticos es realizada por los propios fabricantes, quienes después de contratar los servicios de laboratorios homologados, asignan las etiquetas a sus productos. Además, también es responsabilidad de los fabricantes la aportación de fichas con la información energética del aparato (valores de consumo, capacidad, ruido, etc.).



Vista interior de la cocina con sus equipos eléctricos. Casa eficiente de Gas Natural Fenosa.

### Gasodomésticos

Los gasodomésticos son electrodomésticos que utilizan como fuente de energía el gas natural. Aunque su precio es más elevado que el de los electrodomésticos convencionales, debido a la diferencia de precios entre las dos fuentes energéticas, a largo plazo pueden resultar más ventajosos.

Para la instalación de estos equipos, es necesario hacer llegar la toma de gas hasta las proximidades de los gasodomésticos, lo que requiere realizar pequeñas obras que deben ser llevadas a cabo por un instalador autorizado. La entrada del combustible en los equipos se produce a través de tubos metálicos flexibles, que son resistentes al calor, no caducan y poseen una válvula de seguridad que cierra el paso del gas en caso de desconexión.

En los últimos años, han sido muchos los avances que se han llevado a cabo por parte de los fabricantes para desarrollar este tipo de equipos. Los principales gasodomésticos y los más utilizados en la actualidad son los siguientes:

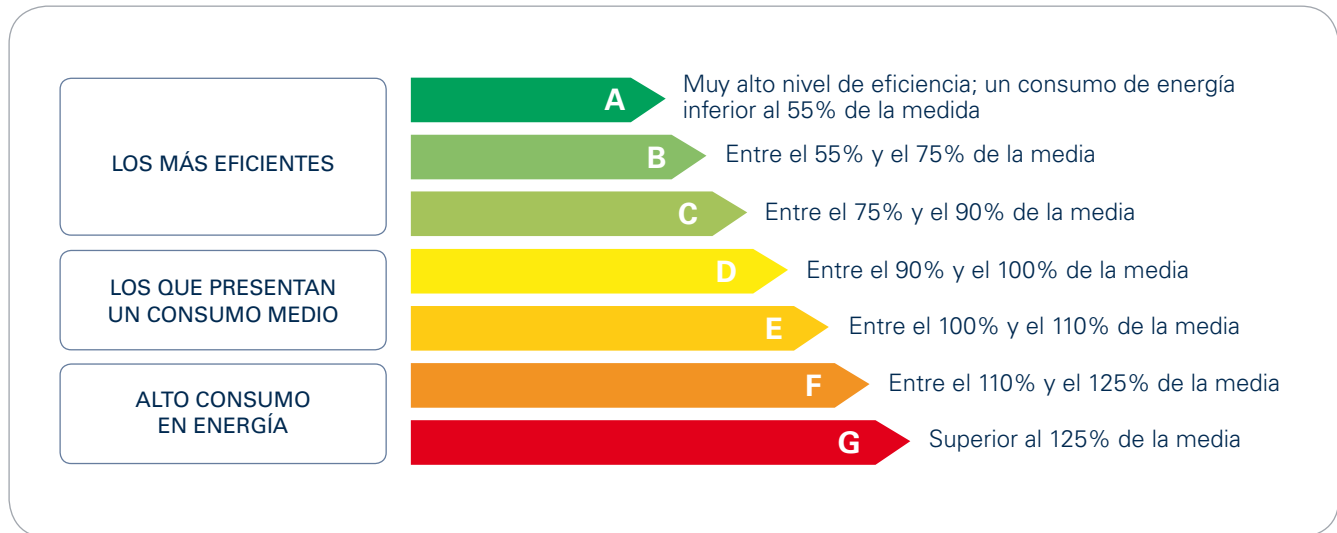
- **Lavadoras bitérmicas:** están equipadas con dos tomas de agua independientes, una para el agua fría y otra para el agua caliente. Según el programa elegido y la temperatura de lavado seleccionada, la lavadora toma agua fría directamente de la red o el agua caliente procedente del calentador o caldera de gas de la vivienda. Al no tener que calentar el agua, este tipo de lavadoras reducen el tiempo de lavado en un 25% y son capaces de reducir el consumo energético en un 30%.

### Etiquetado energético de una lavadora.

<b>ENERGÍA</b>		Lavadora
Fabricante		Logo
Modelo		ABC 123
<p>Más eficiente</p> <p>Menos eficiente</p>		
Consumo de energía. kWh/ciclo <small>(Sobre la base del resultante obtenido en un ciclo de lavado normalizado de algodón a 60 °C) El consumo real depende de las condiciones de utilización del aparato</small>		X <sub>a</sub> YZ
Eficacia de lavado <small>A: más alto G: más bajo</small>		ABCDEFG
Eficacia de centrifugado <small>A: más alto G: más bajo</small> Velocidad de centrifugado (rpm)		ABCDEFG 1100
Capacidad en kg de algodón		yz
Consumo de agua en L		yx
Ruido	Lavado	xy
dB(A) re 1 pW	Centrifugado	xyz
<p>Ficha de información detallada en los folletos del producto.</p> <p>Norma En 60456 Directiva 95/12/CE sobre etiquetado de lavadoras</p>		



FIGURA 3  
Interpretación de las etiquetas energéticas.



- **Secadoras:** las prestaciones de estos gasodomésticos son similares a sus equivalentes eléctricos, con la ventaja de que el ciclo de secado de estos equipos es un 60% menor.
- **Lavavajillas:** al igual que las lavadoras bitérmicas, utilizan el agua precalentada en el calentador, caldera o acumulador de gas natural, por lo que reducen el tiempo de lavado y disminuyen un 35% el consumo energético.
- **Vitrocerámicas:** son uno de los aparatos desarrollados más recientemente, y su funcionamiento es similar al de sus equivalentes eléctricos. Como ventaja, reducen el consumo en un 50%.
- **Hornos de gas:** al igual que en las vitrocerámicas, estos gasodomésticos ofrecen los mismos servicios que los equipos eléctricos. Además, el emplear el vapor de agua de la combustión del gas natural permite que los alimentos no se resequen.
- Utilizar lavadoras y lavavajillas de bajo consumo en agua y energía, y no usarlos si no están totalmente llenos. Las nuevas máquinas regulan el consumo de agua según el peso de la ropa, e incorporan otros sistemas de ahorro que permiten reducir el consumo hasta en 35 litros.
- Utilizar las temperaturas más bajas posibles para lavar y seleccionar los programas más adecuados. Por ejemplo, en las secadoras no es necesario secar al máximo la ropa que después se tiene que planchar.
- De todos los equipos, el frigorífico es uno de los consumidores principales de energía, ya que representa entre el 10% y el 15% de toda la energía eléctrica consumida en el hogar. Se debe escoger la medida de la nevera, optando por la más pequeña posible, de acuerdo con las necesidades.
- La formación de escarcha en el frigorífico de cinco milímetros de espesor puede aumentar el consumo energético en un 30%. Cuantas más veces se abra la puerta del frigorífico, más escarcha se producirá.

#### Buenas prácticas en el uso de electrodomésticos y gasodomésticos

Dentro de las acciones que podemos llevar a cabo desde nuestros hogares para reducir el consumo energético, adquiere gran importancia el uso racional y eficiente de los electrodomésticos y gasodomésticos. Estas medidas, sin necesidad de llevar a cabo inversiones, ofrecen marcos de ahorro muy importantes.

Las actuaciones más efectivas para reducir el consumo de energía son las siguientes:

- La nevera no se debe situar cerca de una zona caliente o una fuente de calor como la cocina, el horno, etc. Es conveniente dejar enfriar los alimentos antes de meterlos en la nevera. No se deben colocar los alimentos amontonados y hay que intentar no abrir y cerrar la puerta de la nevera constantemente.
- Apagar la placa eléctrica unos cinco minutos antes de que acabe la cocción. Además, mantener limpia la superficie de las placas eléctricas y de los quemadores es esencial para un uso eficiente de la cocina.

- Adaptar los recipientes a la dimensión de los quemadores de gas o la placa de cocción eléctrica de forma que el recipiente tenga un diámetro uno o dos cm mayor que la superficie de la llama de gas o placa, y no utilizar la placa más grande para calentar la cazuela más pequeña.
- El correcto funcionamiento de aparatos también ahorra energía. Es conveniente realizar un mantenimiento adecuado de ellos utilizando periódicamente los servicios de mantenimiento del fabricante o del instalador.

### 2.7.2. Equipos ofimáticos, audiovisuales y de ocio

En España se encuentran registradas alrededor de 800.000 empresas, de las que más del 90% poseen un equipamiento ofimático básico completo. Así, las emisiones derivadas del consumo eléctrico del conjunto del equipamiento ofimático en el sector profesional a finales de 1996, ascendieron a algo más de 430.000 t de CO<sub>2</sub>.

Debido a la importancia que tiene el llevar a cabo actuaciones encaminadas a mejorar la eficiencia de este tipo de equipos, desde el Gobierno se presentan planes para ayudar a la adquisición de equipos eficientes, en sustitución de equipos poco eficientes. Es lo que se conoce como Plan RENOVE, que tanto éxito ha tenido en otras ocasiones, como por ejemplo, en la sustitución de electrodomésticos. El objetivo es la sustitución de equipos ofimáticos con un bajo etiquetado energético por otros con etiquetado energético clase A o superior.



Ejemplo de malas prácticas.

Actualmente, podemos encontrar los logotipos de Etiqueta Ecológica y Energy Star en muchos productos, entre ellos, los equipos de ofimática. El primero de ellos indica que el producto cuenta con unos estándares en materia de eficiencia y ahorro energético, además de cumplir con otros en materia de ruido, capacidad de recuperación y reciclado, vida útil, emisiones electromagnéticas. El segundo logotipo pertenece a las especificaciones y Energy Star de eficiencia energética, que dicta la Agencia Americana de Protección Medioambiental (EPA), en la que, en la actualidad, participa la Unión Europea.

Debido a la diversidad de equipos eléctricos y a sus características, las recomendaciones a la hora de adquirir estos equipos pueden ser diferentes:

#### Ordenadores

Debido al gran número de estos equipos existentes en las viviendas, además de en los edificios administrativos, industrias, colegios, etc., en proporción con el resto de equipos ofimáticos, las emisiones derivadas de su consumo eléctrico representan más de la mitad de las emisiones indirectas por consumo de electricidad.

Además, es muy común que estos equipos permanezcan encendidos durante muchas horas al día, a pesar de que el tiempo neto de uso sea claramente inferior. Por este motivo es recomendable utilizar el sistema inactivo o modo book-mark, en el que en el reinicio, el ordenador vuelve al punto exacto en el que se encontraba anteriormente.

Un ordenador calificado con la etiqueta Energy Star es responsable de hasta un 70% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>, derivadas del consumo eléctrico, en comparación con uno convencional que no cuente con un sistema de ahorro de energía.

#### Monitores

Los monitores son unos de los equipos ofimáticos que más exigencias de eficiencia energética se les requiere para obtener la etiqueta Energy Star. Este tipo de monitores, en modo Sleep consumen menos de 4 W.

Por otra parte, existe software que permite ahorrar energía mediante la desconexión de los monitores. Pero se debe recordar que los salvapantallas con fondo negro son los únicos que, además de evitar el deterioro de la pantalla, permiten ahorrar energía.

#### Impresoras y fotocopiadoras

Este equipo está conectado una gran cantidad de horas a la red eléctrica, sin embargo su tiempo de funcionamiento real suele ser muy pequeño, por lo tanto, gran parte de la

energía consumida en su vida útil se despilfarran. Conviene apagarlo completamente si no se va a usar.

### Fax

Hoy en día se pueden encontrar equipos que integren las funciones de fax, impresora y escáner. De esta manera, además de espacio, el ahorro en consumo energético también es importante. En cuanto al uso de este equipo, si no es necesario, no debe utilizarse cubierta en los faxes enviados, ya que, además de energía, se ahorra papel y tiempo de transmisión.

### Buenas prácticas

- Hay que recordar que los modos de funcionamiento Sleep, Stand by o ahorro de energía permiten disminuir el consumo respecto a los modos normales de funcionamiento, pero no implican un consumo cero. De hecho, estos modos de funcionamiento tienen un consumo eléctrico asociado que hay que tener en cuenta, ya que puede ser considerable debido al número importante de horas que habitualmente permanece el aparato funcionando de esta manera. Por este motivo, cuando los equipos no vayan a ser utilizados en períodos largos de tiempo, es recomendable la desconexión total.
- Es aconsejable colocar etiquetas en los equipos para que sean desconectados totalmente tras su uso. Como labor de concienciación, puede incluirse en estas tarjetas el consumo y añadir las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>, en su modo de funcionamiento normal y en modo Stand by, que deberían estar incluidas en las especificaciones técnicas del equipo.

## 3. Índice de eficiencia energética

Una de las campañas más innovadoras en el aspecto de la eficiencia energética es la promovida por la empresa energética Gas Natural Fenosa, a través de su página web [www.empresaeficiente.com](http://www.empresaeficiente.com). Esta página ofrece la posibilidad a los usuarios de analizar cómo son de eficientes sus viviendas y empresas desde el punto de vista energético a través de un completo cuestionario en el que se analizan tanto los hábitos de uso como los elementos instalados. Una vez realizado el estudio telemático, el usuario obtendrá una serie de recomendaciones y pautas que debe seguir para lograr reducir el consumo energético y, por tanto, disminuir su coste energético.

- El usuario conoce cuál es el grado de eficiencia energética de su hogar u organización.

- Le permite seguir su evolución en sucesivas ediciones del Índice de eficiencia energética.
- Obtiene un informe específico, personalizado y confidencial sobre el nivel de eficiencia energética de su compañía o vivienda.
- El informe enviado valora la situación actual con respecto a cuatro áreas:
  1. **Cultura energética:** es el nivel de información existente, la formación y la política en el ámbito de la eficiencia energética.
  2. **Mantenimiento:** es el nivel de sensibilidad existente en el mantenimiento de los diferentes equipamientos utilizados, con objeto de alcanzar el óptimo rendimiento desde el punto de vista de la eficiencia energética.
  3. **Control energético:** es el nivel de gestión del gasto energético, a través de la implicación de métodos de medición y la sucesiva implantación de los procesos administrativos adecuados.
  4. **Innovación tecnológica:** es el grado de actualización de la organización en lo que se refiere a los medios técnicos aplicados en las instalaciones.
- El usuario dispone del perfil de eficiencia energética de su empresa o vivienda, en valores absolutos, y en el caso de las empresas, comparativamente con su sector.

El objetivo del Índice de eficiencia energética es el de favorecer el ahorro y la eficiencia energética en los hogares y en las empresas, contribuyendo de esta manera al desarrollo sostenible de la sociedad.

Según los resultados del último estudio del índice de eficiencia energética 2007 realizado para las pymes, las españolas han mejorado un 3% respecto al año anterior, con lo que el potencial de ahorro de energía se elevaría a un 18,3% del total consumido. Este potencial equivaldría a un ahorro de 1.420 millones de euros, o lo que es lo mismo, 18.739 GW/h (energía necesaria para abastecer los hogares de la Comunidad de Madrid, Galicia y las Islas Baleares durante un año). Este ahorro energético además viene asociado al ahorro de 9,55 Mt de CO<sub>2</sub>.

Esta mejora de la eficiencia energética se traduciría en un ahorro del 1,5% del consumo energético de las pymes, lo que equivale a unos 1.536 GWh/año. Con este ahorro, se lograría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 783.180 t. Como

equivalente, este ahorro energético supondría 185 veces el consumo de la Torre Agbar de Barcelona.

En general, las empresas que efectúan el análisis de eficiencia energética, mejoran su Índice entre un 3% y un 4%, lo que representa una disminución potencial del

consumo energético de entre el 0,6% y el 0,8%. En el caso de que todas las pymes nacionales participaran en este estudio, el ahorro energético sería superior a 614 GW/h, evitando la emisión de más de 313.270 t de CO<sub>2</sub>, o lo que es lo mismo, la cantidad de CO<sub>2</sub> que es capaz de absorber 3 millones de árboles.

FIGURA 4  
Potencial de ahorro en los hogares españoles. Índice de eficiencia energética de Gas Natural Fenosa.

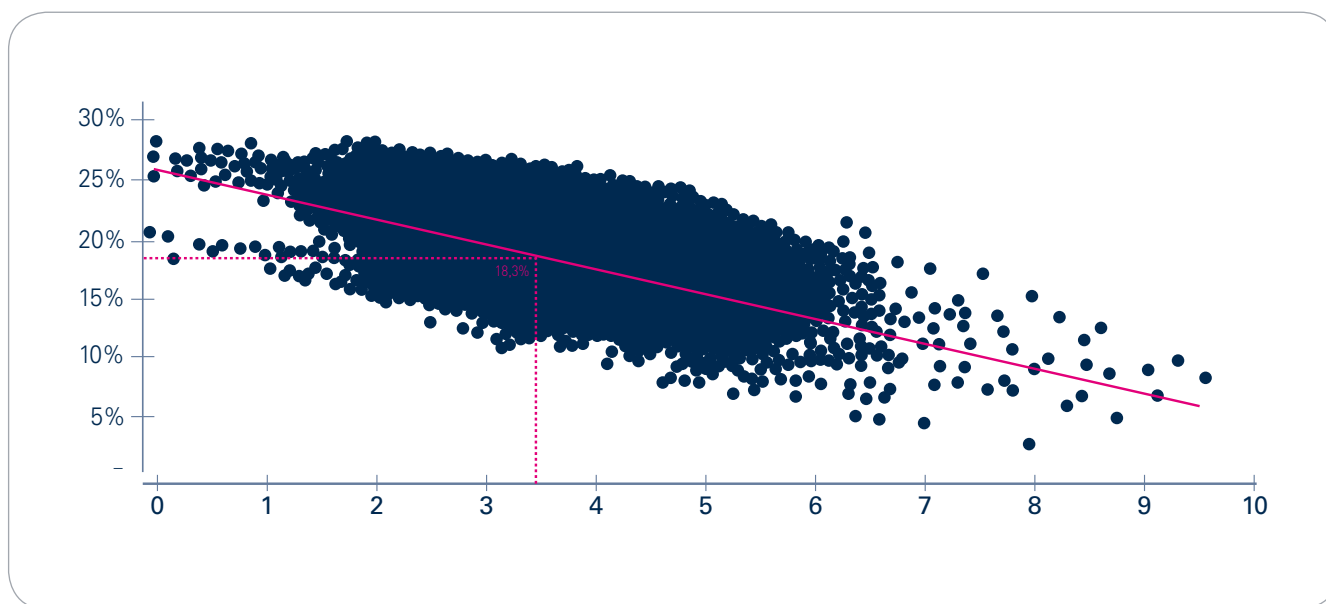
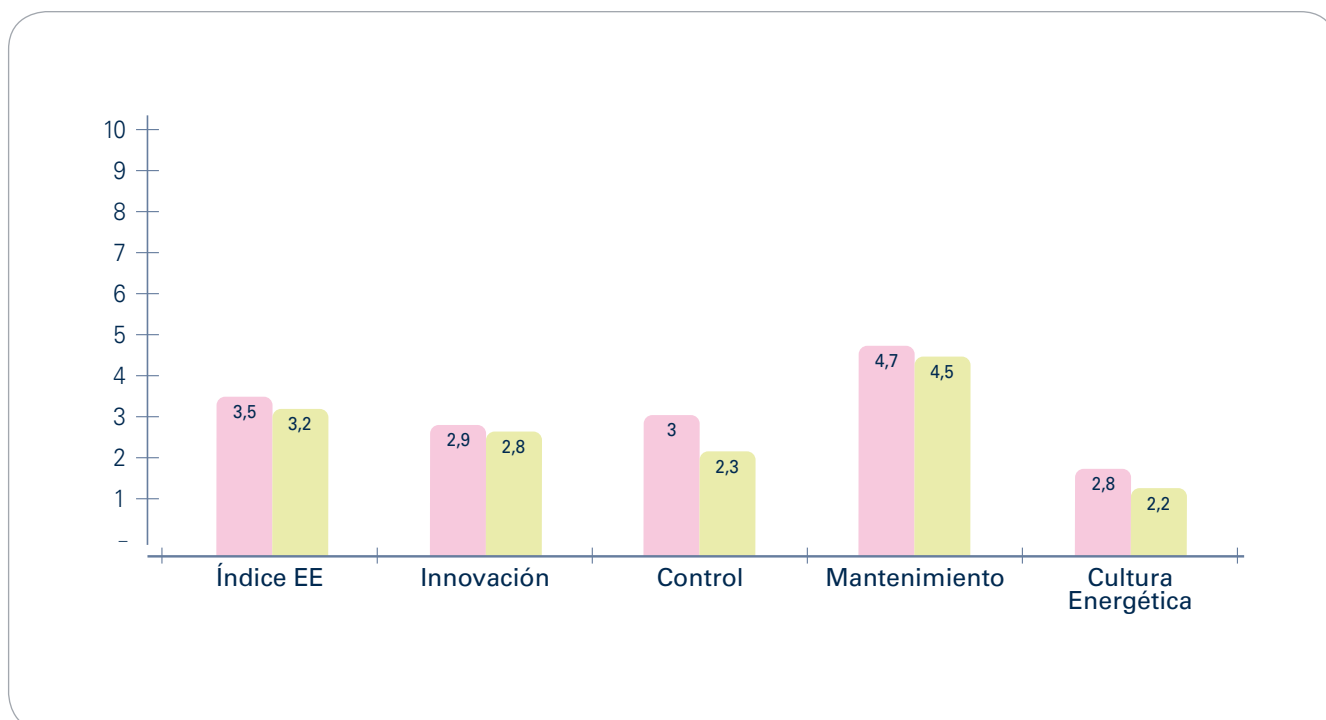


FIGURA 5  
Resultados del estudio por área de análisis.



Dentro de los aspectos que se valoran durante el estudio, el área que presenta el mayor conocimiento en temas de eficiencia energética es el del mantenimiento. Por el contrario, sigue habiendo un déficit en la cultura energética del país, lo que repercute en gran medida en la eficiencia de las empresas y hogares españoles. En el aspecto innovador, el uso de sistemas de regulación (especialmente en iluminación) es bajo, mientras que el uso de las energías renovables en las pymes no se ha

extendido todavía, aunque en las empresas donde se emplean aportan el 45% del total de la energía consumida.

La aplicación de herramientas energéticas como esta permite a los usuarios llevar a cabo medidas de ahorro de consumo sin necesidad de grandes inversiones o mejoras, lo que ayuda a reducir el consumo energético nacional y la dependencia energética de nuestro país.



SERVER ROOM  
EQUIPMENT  
RACKS



03 | Eficiencia y Ahorro Energético  
en la Industria I

## 1. Introducción

El coste de la energía constituye uno de los factores de mayor peso dentro de los costes totales de los procesos productivos. Un consumo energético sostenido permite a las industrias alcanzar una mayor productividad y calidad en su producción.

Por otra parte, con la entrada en vigor de la revisión del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión (PNA II), las empresas implicadas tendrán que verse obligadas a reducir sus emisiones y/o a comprar en el mercado de derechos de emisión, con el consiguiente coste económico que ello implica.

### 1.1. Evolución del consumo energético en el sector industrial

Durante los últimos años, el sector industrial ha disminuido porcentualmente su peso en el reparto del consumo energé-

tico global; así, se ha pasado de un peso del 37,8% en el año 2000 al 35,7% en 2005, teniendo un crecimiento medio anual del 2,3%, frente al 3,5% final del total nacional. La tabla 1 detalla el consumo del sector Industria en el periodo 2000-2005.

A pesar de este descenso del consumo de energía sectorial, se ha producido un aumento de la intensidad energética (consumo de energía por unidad económica de producción) que ha subido desde 155,3 tep/M€ a 164,7 tep/M€ de 2000 a 2005, es decir, con una tasa anual de 1,2%.

Para lograr los objetivos de reducción del consumo y de emisiones marcados en la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) se han previsto una serie de medidas institucionales, como son acuerdos voluntarios con empresas, ayudas para la realización de auditorías energéticas y ayudas para acciones de mejora de la eficiencia.

TABLA 1  
Evolución del consumo de energía final por agrupaciones de actividad.

Consumo de Energía Final (ktep)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Tasa % Crecimiento Medio Anual 2000/2005
Alimentación, bebidas y tabaco	2.433	2.499	2.948	3.017	3.043	2.877	3,4
Textil, cuero y calzado	1.167	922	992	977	990	957	-3,9
Madera, corcho y muebles	724	490	515	541	538	775	1,4
Pasta, papel e impresión	2.047	1.791	2.108	2.617	2.358	2.522	4,3
Química	9.219	9.204	9.643	9.577	9.105	8.841	-1,7
Minerales no metálicos	6.947	7.359	5.818	6.981	6.468	7.211	0,7
Equipo de transporte	892	874	857	1.017	1.008	847	-1
Metalurgia y productos metálicos	6.469	7.148	7.048	7.394	8.314	7.081	1,8
Maquinaria y equipo mecánico	265	343	305	354	357	356	6,1
Equipo eléctrico, electrónico y óptico	193	250	222	258	260	260	6,1



## 2. Análisis sectorial

El documento de referencia para la evaluación de la situación energética en los diferentes sectores de actividad españoles y las perspectivas de evolución es la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). De él se ha extraído la información relativa al sector industrial, que se divide para su estudio en 10 agrupaciones de actividad diferentes dada la heterogeneidad de las empresas que componen el sector. Estas agrupaciones representan el 92% del consumo de energía final total del sector de la industria manufacturera.

### 2.1. Sector alimentación, bebidas y tabaco

Su actividad está fuertemente ligada al comportamiento del consumo privado y la actividad de restaurantes y alojamientos, ramas muy vinculadas al nivel de renta nacional. Este sector se encuentra en continua modernización tecnológica, facilitando de esta forma la incorporación de tecnologías de mayor eficiencia energética. Cuenta con la posibilidad de valorización energética de algunos de sus productos residuales. La tendencia de la demanda hacia productos más sofisticados, en especial precocinados y congelados, está originando un aumento de las necesidades energéticas por unidad de producto.

### 2.2. Sector madera, corcho y muebles

Este tipo de industrias están ligadas a la actividad constructora, principalmente edificación de viviendas, y la fabricación de tableros de aglomerado y de fibras para fabricación de puertas y muebles. El sector ha experimentado un considerable aumento del consumo energético durante los últimos cinco años, con un valor medio de un 2,2% anual. A pesar de este aumento del consumo, el potencial de ahorro energético en el sector es reducido debido principalmente a que las medidas de ahorro en tecnologías horizontales tienen un grado de desarrollo e implantación elevado.

### 2.3. Sector equipos de transporte

Es un sector de una gran heterogeneidad ya que abarca a los fabricantes de todo tipo de medios de transporte, automoción, ferroviario, naval y aeroespacial/aeronáutico, así como a todos los fabricantes de componentes para dichos medios de transporte. Las industrias que lo componen son, por lo general, poco intensivas en energía, aunque algunas, como la fabricación de vehículos automóviles y motores, junto con productos metálicos, presentan consumos unitarios superiores a la media del sector. Las posibilidades de ahorro energético en este sector son reducidas por dos motivos: el consumo energético representa un porcentaje bajo en la estructura de

costes y la alta competitividad del sector provoca un proceso constante en la optimización de los procesos, reduciéndose de esta forma los costes productivos.

### 2.4. Sector metalurgia no férrea

Esta agrupación comprende el procesamiento primario y secundario, fusión de concentrados minerales y chatarras, desechos y desperdicios, así como el acabado de un gran volumen de metales no féreos. La producción y el consumo de energía del sector pueden caracterizarse mediante cuatro productos de referencia: aluminio, cobre, zinc y plomo. De ellos, el aluminio es el producto más intensivo en energía, como lo explica el hecho de que el 80% de su valor esté directamente ligado al coste de la energía consumida para su producción, principalmente electricidad. El resto de productos son menos intensivos en consumo energético. El potencial de reducción de los consumos específicos para la producción de aluminio y del resto de productos no es muy elevado, y está ligado fundamentalmente a pequeños cambios de equipos y a mejoras en el proceso productivo, aunque no cabe esperar fuertes cambios en las tecnologías de los equipos principales.

### 2.5. Sector minerales no metálicos

Este sector está constituido por una gran variedad de empresas de pequeño y mediano tamaño en su mayoría. Comprende la fabricación de una amplia gama de productos: cemento, cales y yesos, vidrio, productos cerámicos y tierra cocida y el resto de derivados minerales no metálicos. El sector mantiene una estrategia energética encaminada a reducir el consumo energético, mejorando la eficiencia de los equipos de producción y utilizando residuos y subproductos para ahorrar el consumo de recursos no renovables. La valorización energética de residuos constituye una vía de mejora de la eficiencia energética de gran potencial en este sector industrial.

En general, los procesos productivos básicos de este sector están compuestos por reacciones químicas altamente intensivas en energía.

### 2.6. Sector pasta, papel e impresión

Comprende la producción de pasta papelera, papel y cartón, así como las industrias de artes gráficas y edición. Se utilizan grandes cantidades de vapor para los procesos térmicos y grandes cantidades de electricidad para los procesos mecánicos, que son necesarios para descortezar, astillar y digerir la madera, blanquear la pasta y secarla, siendo esta parte del proceso la más intensiva en energía.

El uso como materia prima de papel reciclado en lugar de la madera reduce las necesidades energéticas del proceso, si bien ambas materias primas son complementarias y necesarias para la fabricación de las distintas calidades de papel. El subsector ha realizado históricamente importantes esfuerzos en materia de ahorro energético, tanto por la mejora en los rendimientos de la materia prima y procesos, como por la renovación de los equipamientos. Se han desarrollado significativamente la cogeneración y el aprovechamiento de combustibles renovables, existiendo un elevado potencial en residuos de proceso.

Las posibilidades de ahorro energético dentro del sector se centran sobre todo en empresas de tamaño pequeño y medio, teniendo que realizarse esfuerzos económicos elevados y unos ahorros relativos medios. Las posibilidades en empresas de tamaño grande con eficiencias energéticas muy altas pueden tener impacto a nivel del conjunto o sector, pero teniendo que realizarse esfuerzos económicos elevados y unos ahorros relativos bajos para este tipo de empresas.

### 2.7. Sector industria química

Existen dos pautas bien diferenciadas: la química básica (es intensiva en energía) y la química de productos especiales y farmacéuticos (que no lo es). Este subsector abarca todo un abanico de productos, algunos de los cuales son de los más intensivos en energía de la industria:

- **Química básica:** gases industriales, productos básicos de química orgánica e inorgánica, materias primas plásticas y caucho sintético, fibras químicas, etc.

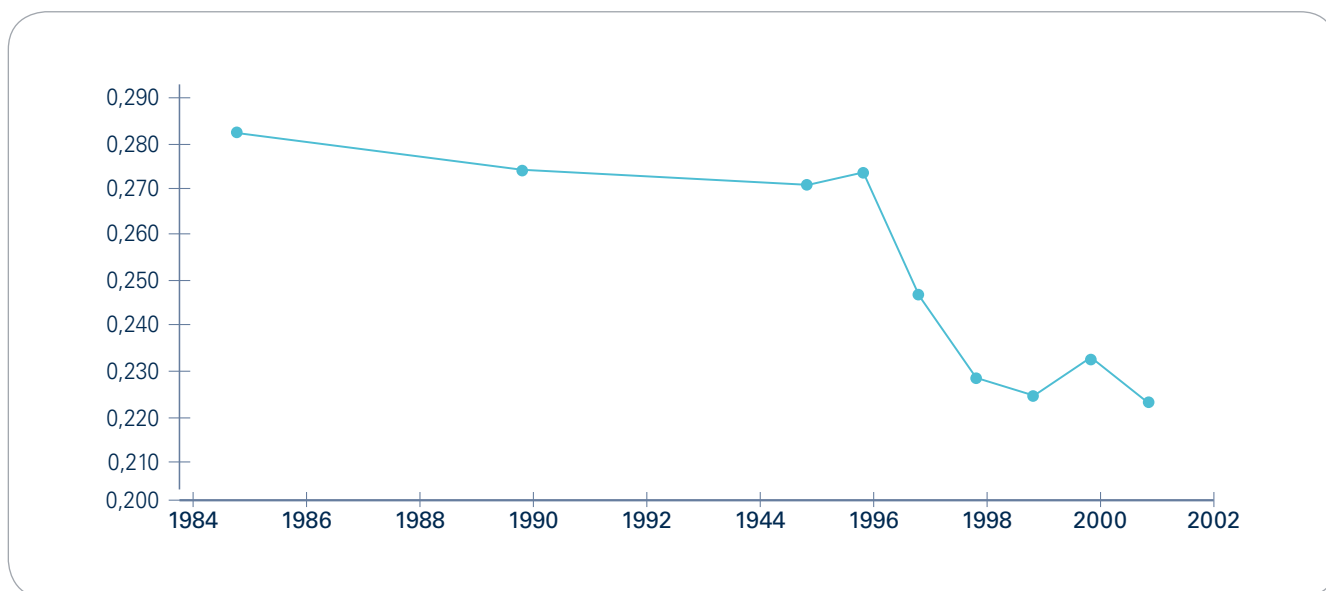
- **Agroquímica:** este apartado comprende la fabricación de fertilizantes y fitosanitarios.
- **Farmaquímica:** comprende la fabricación de productos de base, especialidades farmacéuticas y zoonitarias.
- **Química transformadora:** comprende detergentes, perfumería, pinturas y tintas de imprentas, adhesivos, colorantes, pigmentos y otros productos químicos (aceites básicos, explosivos, etc.).

### 2.8. Sector siderurgia y fundición

En este subsector se incluyen las actividades de la siderurgia (producción de aceros de todo tipo) y fundición (únicamente fundición férrea), que, a su vez, se dividen en numerosas ramas de producción. Está inmerso en un proceso de reconversión tecnológica, que implica una reducción importante del consumo energético.

El consumo de energía asociado al gran crecimiento productivo experimentado denota una mejora en la aplicación de las técnicas de optimización energética. Esto queda patente si se observa la evolución de su intensidad energética (ver figura 1). El sector ha aplicado en los últimos años mejoras tecnológicas enfocadas a la reducción de consumo energético. Teniendo en cuenta las grandes inversiones ya realizadas en cuestión de mejoras e implantación de nuevos procesos productivos, se ha llegado a un grado de optimización energética tal que las medidas que se adopten difícilmente redundarán de forma significativa en futuras reducciones

FIGURA 1  
Evolución de la intensidad energética (tep/tm de acero) del sector.



## 2.9. Sector textil, cuero y calzado

Está formado por dos ramas de actividad muy diferentes que a su vez se dividen cada una de ellas en numerosas ramas de producción:

- **Textil y confección:** actualmente, la rama industrial de acabados es la más intensiva en energía y la que mayor gasto energético presenta, teniendo un grado de eficiencia energética muy elevado. El resto de las ramas industriales del textil presentan pesos del coste energético más moderados, debido a la progresiva automatización de los procesos.
- **Cuero y calzado:** la fabricación de curtidos es una actividad industrial moderadamente intensiva en energía; los costes energéticos representan actualmente un 5% de los costes de fabricación. Por otro lado, la intensidad energética de los procesos susceptibles de una mejora de eficiencia energética son los del subsector de acabados.

## 2.10. Sector transformados metálicos

Cuenta con dos actividades principales: fabricación de estructuras metálicas y calderería. Dentro del sector existe una gran heterogeneidad de actividades. En general, dentro del sector de transformados metálicos se observa que los costes energéticos suponen entre un 4% - 10% de los gastos totales de explotación. Además, casi la mitad de los consumos energéticos se utilizan para los servicios auxiliares de las fábricas, es decir, alumbrado, climatización y mantenimiento. Esto supone un freno a la hora de aplicar mejoras para reducir el consumo energético.

## 3. Tecnologías eléctricas

En esta sección se evalúan las tecnologías y componentes con uso intensivo de energía eléctrica dentro de las prácticas habituales en la industria, como motores, bombas y ventiladores, sistemas de iluminación y equipos de refrigeración industrial. En cada uno de los apartados se describe de forma general su funcionamiento y los aspectos claves que permiten optimizar la eficiencia energética de las instalaciones.

### 3.1. Motores eléctricos

Aproximadamente el 60% de la energía eléctrica consumida a nivel mundial se debe al funcionamiento de los motores eléctricos, ya que mueven una gran cantidad de dispositivos industriales y domésticos como bombas, compresores,

ventiladores, maquinaria, vehículos, etc. Además, el gasto asociado a este consumo eléctrico es del orden de 60 a 100 veces mayor que la inversión realizada inicialmente. A pesar de ello, el criterio de eficiencia energética no suele ser tenido en cuenta a la hora de la adquisición de un nuevo equipo. No se comprende suficientemente que los motores con mayor eficiencia, aunque son más caros inicialmente, compensan la diferencia en un plazo reducido gracias al menor coste de operación.

Otra razón es la poca información que tienen los ingenieros y técnicos de la eficiencia energética de los motores, parámetro por otra parte de difícil cuantificación y comparación. Este desconocimiento da inseguridad en el momento de la aplicación y en algunos casos puede ocasionar inconvenientes en la operación de los motores.



Motor de alto rendimiento SIEMENS.

#### 3.1.1. Principio de funcionamiento

La misión fundamental del motor eléctrico es la de transformar la energía eléctrica en energía mecánica que permita poner en movimiento el mecanismo del equipo en el que se instale. El funcionamiento de un motor se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear a partir de ellas unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un eje y generar un movimiento de rotación. Con independencia de la tecnología que utilice, la eficiencia energética de un motor está caracterizada por una serie de pérdidas eléctricas y mecánicas en sus componentes y que se pueden agrupar en tres:

- **Pérdidas por efecto Joule:** tienen lugar como consecuencia de la resistencia que oponen los devanados del motor (rotor y estator) al paso de la corriente eléctrica.
- **Pérdidas magnéticas:** pérdidas asociadas a los campos magnéticos presentes en el interior de la máquina.
- **Pérdidas mecánicas:** son debidas a la fricción que ejerce el aire y los elementos fijos sobre las partes móviles del motor.

La mayor o menor eficiencia energética de un motor eléctrico depende de la magnitud de los diferentes tipos de pérdidas. Así, los motores con un diseño apropiado de sus devanados y partes móviles y unos materiales adecuados permiten, para una potencia en el eje similar, un menor consumo respecto de un motor más económico en el que estos aspectos no se hayan tenido en cuenta de forma exhaustiva. Pero hay otros factores que se refieren al régimen y modo de funcionamiento del motor, como por ejemplo:

- El dimensionamiento adecuado del motor para la aplicación a la que va destinado.
- Régimen de carga: carga parcial o nominal, carga variable o estacionaria, sobrecargas, etc.
- Alimentación del motor: características y calidad de la corriente eléctrica de entrada al motor.
- Mantenimiento realizado.

### 3.1.2. Propuestas para mejorar la eficiencia energética en motores eléctricos

#### 1. Utilización de motores de alta eficiencia

Este tipo de motores cuentan con un diseño y construcción especiales que favorecen unas menores pérdidas que los motores estándar. De los costes totales de operación de un motor durante su vida útil, el coste de compra supone el 1%, la energía el 95%, el mantenimiento el 3% y los costes de ingeniería y logística el 1%. Así, el coste de compra del motor es poco significativo respecto al coste total de operación, por eso, al seleccionar motores eléctricos hay que considerar fundamentalmente su eficiencia.

Hay tres tipos estandarizados de motores de alta eficiencia: EFF1, EFF2 o EFF3, en función de las caracte-

rísticas de la aplicación a la que estén destinados. A continuación se presentan una serie de ventajas y limitaciones que tienen estos motores.

Ventajas de los motores de alta eficiencia:

- Son más robustos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- Una mayor eficiencia supone un menor coste de operación.

Limitaciones de los motores de alta eficiencia:

- Operan a una velocidad mayor que los motores estándares. Esto puede significar un incremento en la carga. Esta posibilidad debe valorarse en cada caso.
- El par de arranque puede ser menor que el de un motor estándar, por lo que hay que analizar cuidadosamente cada caso. La corriente de arranque suele ser mayor, lo que puede provocar que se sobrepase el límite de caída de tensión en la red en el momento del arranque.

Recomendaciones para la aplicación de motores de alta eficiencia.

Se recomienda la compra de motores de alta eficiencia en los siguientes casos:

- En los motores entre 10 CV y 75 CV cuando operan 2.500 horas anuales o más.
- En motores de menos de 10 CV o superior a 75 CV cuando superan las 4.500 horas.
- Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia.

#### 2. Sustitución en lugar de reparación de un motor usado

Cuando un motor falla se presentan dos alternativas: reparar el motor averiado o comprar un nuevo motor. La alternativa de la reparación parece ser, a primera vista, la más oportuna cuando su coste es inferior a una nueva compra. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, el rebobinado de un motor conduce a una pérdida de rendimiento y a una menor fiabilidad de funcionamiento. Según estudios de General Electric, la eficiencia empeora entre 1,5% y 2,5% tras el rebobinado. La decisión de sustituir el motor averiado por un motor de

alta eficiencia depende de varios factores, como el coste de reparación, la variación del rendimiento, el precio del nuevo motor, la eficiencia original del motor instalado, el factor de carga, las horas de operación anuales, el precio de la energía y el criterio de amortización. No obstante, es recomendable atender a los siguientes criterios de elección:

- Relacionarse con talleres de reparación cualificados para la obtención de información fiable.
- Los motores menores de 40 CV y más de 15 años de utilización y los motores menores de 15 CV son candidatos a ser reemplazados.
- Si el coste del rebobinado supera el 50% del coste de un motor nuevo, debería ser sustituido.

### 3. Dimensionamiento adecuado

Se recomienda que la potencia nominal esté sobredimensionada del 5% al 15% respecto a la potencia necesaria para la aplicación, con el objetivo de que el motor opere con eficiencia y factor de potencia (relación entre el consumo de energía activa y energía reactiva) adecuados. El procedimiento para el cálculo de la potencia adecuada depende del régimen de carga del motor, ya que es posible subdimensionar en ciertos casos el motor en función de la cantidad de arranques y paradas a las que se vea sometido.

### 4. Mejora de la calidad de la energía eléctrica

Los motores eléctricos están diseñados y fabricados para operar en las condiciones especificadas en la placa de características, llamadas condiciones nominales. Sin embargo, los sistemas eléctricos industriales generalmente no presentan las condiciones ideales ni en simetría, forma de onda y magnitud. Estas variaciones pueden perjudicar el rendimiento y el tiempo de vida del motor. A continuación se indican las recomendaciones más habituales para asegurar una mínima calidad del suministro eléctrico:

- Mantener los niveles de tensión cercanos al valor nominal.
- Minimizar el desequilibrio de tensiones.
- Disminuir la distorsión armónica de la red.

### 5. Optimización de la transmisión

Los sistemas de transmisión permiten transmitir el par del motor a las cargas o equipos (bombas, compresores, etc.) ya sea cambiando o no la velocidad que entrega el motor, lo que se logra mediante acoplamientos al eje de engranajes, poleas. Es importante en la selección del sistema de trans-

misión conocer las características de cada sistema para realizar una adecuada selección. Se recomienda seguir las siguientes recomendaciones en función del tipo de acoplamiento:

- **Acople directo:** asegurar un correcto acoplamiento entre el motor y la carga.
- **Correas:** usar bandas en V y preferentemente dentadas.
- **Reductores:** seleccionar adecuadamente el tipo de reductor (helicoidal, cónicos, cilíndrico y tornillo sin fin) de acuerdo a la potencia y a la relación de velocidades
- **Cadenas:** no tienen deslizamiento y se recomiendan para transmitir elevadas cargas. Su eficiencia puede alcanzar el 98%.

### 6. Utilización de control electrónico de velocidad

Es importante que el motor y el equipo operen en su punto óptimo de operación, es decir, que el motor accione la carga a la velocidad necesaria con un consumo mínimo de energía. El equipo más utilizado para este fin es el variador electrónico de velocidad o frecuencia.

Un variador modifica la frecuencia de la onda de tensión de alimentación al motor, permitiendo que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación. Este tipo de equipos permite regular el par motor sin necesidad de recurrir a otras opciones mucho menos eficientes, logrando un considerable ahorro de energía y otros beneficios adicionales como una mayor vida útil del motor, menor ruido, menor desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración.

Las cargas que tienen un régimen variable son las mejores candidatas a ser accionadas mediante un motor con variador para ahorrar energía. Un ejemplo muy típico son los ventiladores y bombas centrífugas.



Variador electrónico de velocidad.

### 3.2. Bombas y ventiladores

#### 3.2.1. Descripción de un sistema de bombeo

La finalidad de una instalación de bombeo consiste en el transporte de un fluido hasta el punto de consumo, almacenamiento o evacuación, venciendo una determinada altura geométrica y las pérdidas por rozamiento generadas en el circuito de tuberías (pérdida de carga).

Un sistema de bombeo está formado por dos componentes principales:

- **Circuito hidráulico:** por el que circula el fluido, caracterizado por la longitud, diámetro y rugosidad del entramado de tuberías. Este circuito vence una determinada altura geométrica y, además, para un caudal determinado que circula por él tiene asociada una determinada pérdida de carga (resistencia al paso del fluido de las paredes de las tuberías), lo que permite elaborar una curva característica (altura-caudal) del funcionamiento del circuito.
- **Equipos de bombeo:** bomba o agrupación de bombas que impulsan un determinado caudal de fluido, de modo que le confieren la energía necesaria para vencer la altura geométrica y la pérdida de carga determinada por dicho caudal en el circuito. La bomba consiste en un rodete con álabes arrastrado por un motor, normalmente eléctrico. En función del circuito al que esté conectada, la bomba es capaz de impulsar un determinado caudal hasta una determinada altura (altura

geométrica más altura equivalente por pérdidas de carga). Ello permite trazar una curva característica (altura-caudal) de la operación de la bomba.

La combinación de ambas curvas características permite la determinación del punto de operación del sistema, que viene dado por el punto de corte de ambas curvas.

El consumo de energía de la bomba es la suma de tres componentes:

- La energía necesaria para la elevación del fluido (altura geométrica).
- Pérdidas en el motor de la bomba.
- La energía necesaria para vencer las pérdidas de carga del circuito hidráulico.

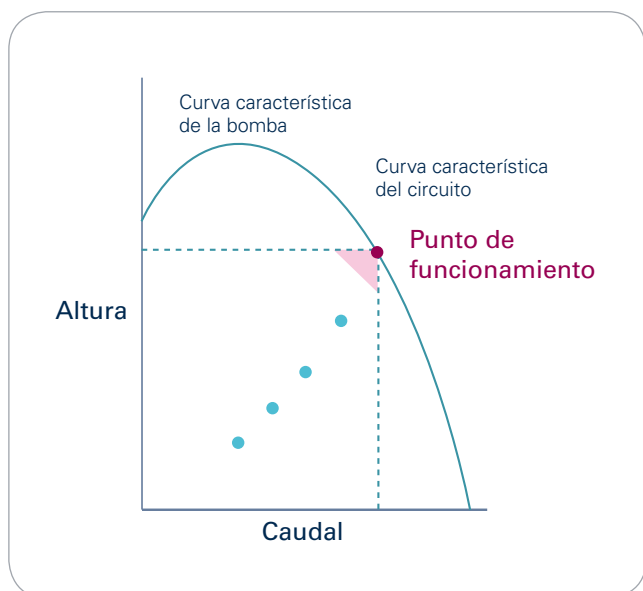
Por tanto, el consumo energético de la bomba depende del motor empleado para arrastrarla, de la altura a vencer, el caudal y las pérdidas de carga del circuito

#### 3.2.2. Propuestas para mejorar la eficiencia energética en sistemas de bombeo

Las causas más frecuentes de un bajo rendimiento del sistema son las siguientes:

- **Motores de accionamiento de bajo rendimiento:** Las medidas de mejora de eficiencia energética en estos equipos ya fueron comentadas en el apartado anterior (motores eléctricos).
- **Circuito inadecuado:** diseño defectuoso o modificaciones de la instalación original. Debido a que la característica de funcionamiento de una bomba es fuertemente no lineal, toda desviación de la operación del sistema fuera del rango óptimo de la bomba conduce a un funcionamiento ineficiente de la misma. Estas desviaciones pueden ser fruto de un mal dimensionamiento o de posteriores modificaciones o ampliaciones del circuito hidráulico. Toda modificación del circuito ha de llevar consigo un estudio de la modificación del punto de funcionamiento de la bomba para determinar la necesidad del ajuste o sustitución del equipo de bombeo para asegurar que trabaja en unas condiciones óptimas.
- **Regulación inadecuada:** A menudo los circuitos de bombeo no funcionan con una carga constante sino que el caudal que circula por ellos es variable. Esta circunstancia es muy habitual en la industria (centrales de frío, condensadores, circulación de líquidos, etc., en los que la demanda no es constante).

FIGURA 2  
Curvas características y punto de funcionamiento.



Para variar el caudal que circula por el circuito es necesario modificar las condiciones de operación del circuito o de la bomba. Las distintas opciones son las siguientes:

- **Válvulas de regulación:** se introduce una pérdida de carga adicional en el circuito, por lo que el caudal disminuye. La potencia requerida disminuye, pero el rendimiento global de la instalación desciende en mayor medida.
- **Arranque/parada:** es una opción muy perjudicial para la bomba y el circuito porque se producen golpes de ariete (cambios bruscos en la presión del fluido). Energéticamente es más eficiente que la opción anterior.
- **By-pass:** se recircula cierta cantidad de fluido por la apertura de una válvula de by-pass. Es la opción menos eficiente energéticamente.
- **Control de velocidad:** es el método más eficiente, ya que en todo momento la bomba opera en su punto óptimo de funcionamiento.

### 3.2.3. Sistemas de ventilación y extracción

Las instalaciones industriales de ventilación y extracción son muy parecidas a las de bombeo, diferenciándose en las propiedades del fluido transportado, que en este caso es un gas (frecuentemente aire). Las medidas propuestas anteriormente para el caso de las instalaciones de bombeo son aplicables en su totalidad a los sistemas industriales de ventilación y extracción.

## 3.3. Aire Comprimido

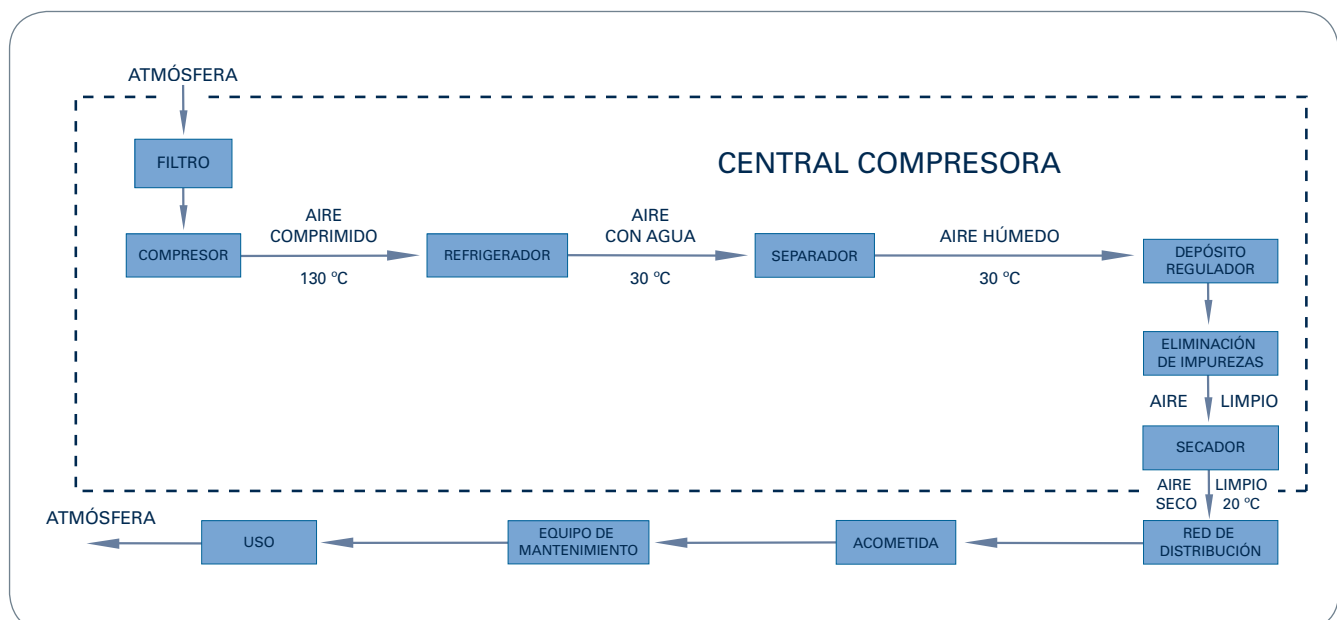
### 3.3.1. Descripción de un sistema de aire comprimido

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático. En otras ocasiones, se emplea para atomizar o aplicar sprays de barnices o pinturas.

Una instalación básica de aire comprimido para uso industrial suele constar de los siguientes elementos: compresor, depósito de almacenamiento y regulación, enfriador, deshumidificador, líneas de distribución y los puntos de consumo con su regulador y filtro. El consumo eléctrico del sistema lo realiza el compresor, pero todos los elementos influyen en mayor o menor medida en el rendimiento energético del sistema. Por tanto, este rendimiento depende de múltiples factores.

El principal es el buen funcionamiento de los equipos de compresión, seguido por la cantidad de aire perdido por fugas, pérdidas de carga excesivas que afecten a la potencia de las herramientas y equipos consumidores, sistema de control, etc. En el siguiente apartado se presentan algunas actuaciones que se pueden llevar a cabo para reducir el coste derivado del uso de los compresores, sin menoscabo de la seguridad y del rendimiento del personal y los equipos.

FIGURA 3  
Curvas características y punto de funcionamiento.



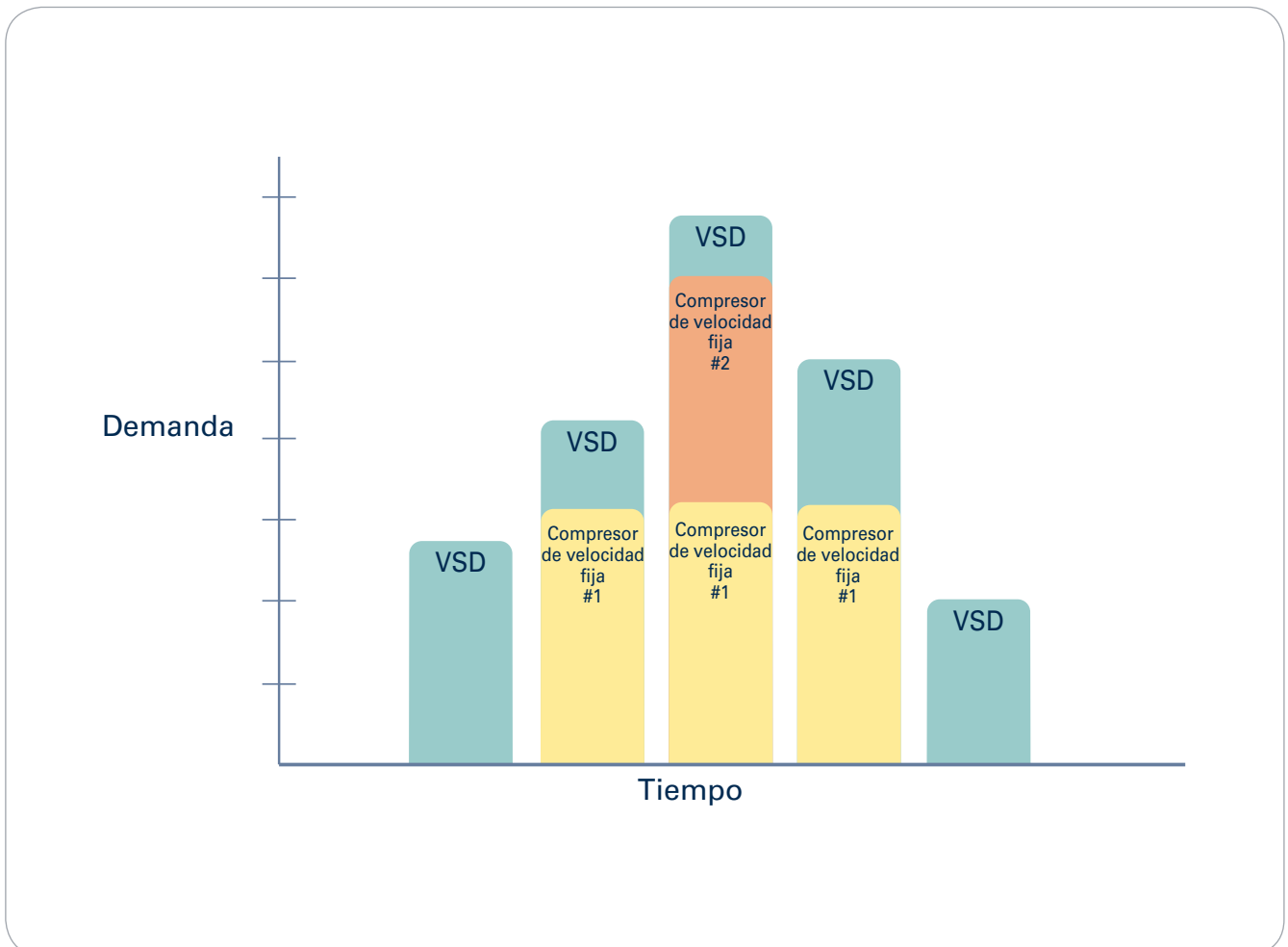
3.3.2. Propuestas para mejorar la eficiencia energética en sistemas de aire comprimido

- **Recuperación del calor:** El principio de funcionamiento termodinámico de los compresores es muy ineficiente. Aproximadamente, un 94% de la energía consumida en un compresor se transforma en calor recuperable y únicamente un 6% se transforma en energía de presión. La recuperación del calor disipado puede significar un ahorro de energía importante. Con compresores refrigerados por agua puede recuperarse hasta el 90% de la energía de entrada en forma de agua caliente a temperatura de 70 °C - 80 °C, que puede utilizarse para duchas, calefacción, alimentación a calderas, etc.
- **Utilización de compresores de velocidad variable:** El aire comprimido es uno de los campos de aplicación más favorable de los variadores de velocidad (o VSD, "Variable Speed Drive"), debido a que la demanda de aire comprimido en una instalación es

frecuentemente muy variable, por lo que el compresor (o compresores) operan a carga parcial durante gran parte de su vida útil. Como se comentó en el apartado correspondiente ("Utilización de control electrónico de velocidad"), este tipo de accionamientos permite ajustar la potencia desarrollada por el motor a la carga instantánea, mejorando notablemente de esta forma la eficiencia energética del conjunto.

- **Fraccionamiento de potencia de los compresores:** Es otra opción en industrias con un gran consumo de aire comprimido. Consiste en disponer de una central de producción de aire con varios compresores de similar potencia, de forma que uno de ellos sea de velocidad variable. Este último estaría en funcionamiento permanentemente para ajustar el consumo eléctrico a la demanda instantánea de aire del sistema. El resto de compresores entrarían en funcionamiento secuencialmente en función de las necesidades (ver figura 4), de forma que en todo momento todos los compresores operen de forma óptima.

FIGURA 4  
Fraccionamiento de la potencia de los compresores.





### 3.4. Iluminación

Un adecuado nivel de iluminación es imprescindible en el desarrollo de cualquier actividad, pero el alumbrado es una de las instalaciones a las que se presta una menor importancia en las industrias y en la mayoría de sectores. A pesar de que el consumo energético imputable a la iluminación en el sector industrial no es de gran importancia con respecto a otros consumos, está plenamente justificada la adopción de medidas de mejora de la eficiencia energética en el consumo de iluminación, con la consiguiente reducción de los costes de explotación.

El objetivo fundamental del sistema de iluminación es proporcionar un alumbrado energéticamente eficiente con calidad suficiente para que la visibilidad sea, en todo momento, la adecuada para garantizar el mantenimiento de la productividad y la seguridad de los ocupantes.

Desde el punto de vista energético, los elementos fundamentales de un sistema de iluminación son la lámpara, el equipo auxiliar y los sistemas de regulación. En los siguientes apartados se describen estos distintos componentes de las instalaciones industriales de iluminación, donde se presta especial atención a los equipos que permiten una mayor eficiencia energética.

#### 3.4.1. Tipos de lámparas

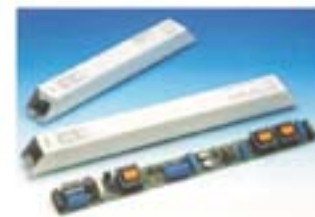
Existe una gran variedad de tipos de lámparas con características muy variadas en función de las características requeridas para cada aplicación. En la tabla 2 se detallan las caracte-

terísticas y el ámbito de aplicación más adecuado para los tipos de lámparas de uso más frecuente en industria.

#### 3.4.2. Equipos auxiliares


Algunas lámparas necesitan para su funcionamiento una serie de elementos:

- **Reactancia o balasto:** necesario en las lámparas fluorescentes y de descarga. Existen dos tecnologías distintas, la electromagnética y la electrónica. La primera de ellas supone un consumo adicional de la lámpara de un 25% de su potencia nominal. Los balastos electrónicos eliminan este consumo adicional y añaden una serie de ventajas, como la mayor duración de la lámpara que evitan el parpadeo, y que incluyen arrancador y condensador integrados de forma que solo hay que instalar un equipo. Son más caros que los electromagnéticos pero se amortizan rápidamente por el menor consumo y la mayor duración de las lámparas.



Balasto electrónico.

TABLA 2  
Características de las lámparas más utilizadas en industria.

Tipo de lámpara	Imagen	Índice de reproducción cromática (0-100)	Vida útil (horas)	Eficacia luminosa (lm/W)	Equipo auxiliar	Observaciones	Coste
Fluorescente		60-95	8.000-12.000	65-100	Arrancador, balasto y condensador	El balasto electrónico reduce su consumo en un 25%	Reducido
Vapor de mercurio		50-60	12.000-16.000	30-60	Balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves de gran altura	Medio
Vapor de sodio alta presión		20-80	10.000-25.000	50-150	Arrancador, balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves de gran altura con poca exigencia visual y exteriores	Alto
Halogenuros metálicos		60-85	6.000-15.000	75-95	Arrancador, balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves con exigencias visuales moderadas o altas	Alto

- **Arrancador:** en algunas lámparas es necesario un elemento que permita elevar la tensión inicial en el momento del encendido por encima de un umbral a partir del cual la lámpara es capaz de mantenerse en funcionamiento por sí misma.
- **Condensador:** para la corrección del factor de potencia, ya que en lámparas fluorescentes y de descarga es muy bajo.

### 3.4.3. Sistemas de control y gestión

Permiten una adecuada gestión del modo de funcionamiento, nivel de iluminación y tiempo de encendido de las lámparas de un local. Su adecuada utilización puede suponer una gran oportunidad de ahorro energético que no suele ser tenido en cuenta a la hora del diseño de las instalaciones industriales. Los sistemas más utilizados son los siguientes:

- **Programadores horarios.** Son interruptores horarios adaptables a cajas de mecanismos o conectados a enchufes. Se utilizan para controlar grupos de lámparas en locales cuya ocupación siga un patrón temporal muy definido (diario, semanal, etc.). Son muy adecuados en locales de industrias con horarios de trabajo fijos.
- **Detectores de presencia.** Este tipo de elementos se caracteriza por estar conectado a otros sistemas con fines de ahorro de energía. Se activa por presencia y se mantiene por presencia o sonidos. Su utilización resulta muy conveniente en locales de ocupación esporádica o intermitente, como almacenes, vestuarios, pasillos, etc.
- **Reguladores de luz.** Permiten variar el flujo luminoso de las fuentes de luz en una instalación de alumbrado. Responden a un sistema de mando que recibe, como entrada, la salida de los diferentes dispositivos de control. Su principal objetivo es reducir el nivel de iluminación a determinadas horas y obtener un importante ahorro energético. La regulación de flujo luminoso se basa en la variación de la corriente de las lámparas, que puede hacerse de forma continua o escalonada.

La aplicación más importante de este tipo de elementos es en locales con cierto grado de iluminación natural. En combinación con sensores de luz natural logran mantener el nivel de iluminación mediante la regulación de la potencia de las lámparas. De este modo se aprovecha de forma óptima el aporte de luz natural y se obtiene un considerable ahorro de energía.

FIGURA 5  
Arrancadores, Reactancias electromagnéticas y Cebadores.



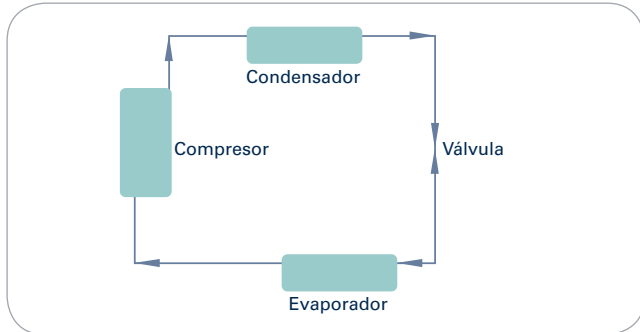
### 3.4.4. Producción de frío industrial

Ciertas industrias necesitan del frío para mantener los productos o como parte de sus procesos productivos (industria alimentaria y de bebidas, farmacéutica, química, etc).

Los sistemas de producción de frío se basan en ciclos termodinámicos o procesos físicos, en los que de modo continuo tiene lugar un transporte de energía térmica entre un foco a baja temperatura y un foco a alta temperatura. Los sistemas más extendidos en la actualidad son los que siguen el ciclo denominado de "compresión mecánica de vapor". Una instalación de este tipo consta de los siguientes elementos principales:

- **Compresor:** acoplado a un motor, que puede ser de diferentes tipos. Realiza la compresión del refrigerante.
- **Condensador:** en su interior se produce la condensación del gas refrigerante mediante la disipación de calor al ambiente.
- **Evaporador:** situado en la correspondiente cámara frigorífica o equipo de refrigeración. En su interior el refrigerante absorbe el calor del aire y se evapora.
- **Circuito del refrigerante:** el refrigerante sigue un ciclo cerrado por un circuito de tuberías, a lo largo del cual sufre una serie de transformaciones físicas.

FIGURA 6  
Esquema de compresión mecánica de vapor.



De todos los elementos, el que requiere una cantidad significativa de energía eléctrica para su funcionamiento es el compresor. Existen diversos tipos de compresores, siendo los más comúnmente empleados los de pistón, los centrífugos y los denominados de tornillo.

A continuación se describen con más detalle las acciones más frecuentes de mejora a tener en cuenta para incrementar el rendimiento energético de la instalación de producción de frío industrial.

#### 3.4.5. Aislamiento de cámaras frigoríficas

El aislamiento es el factor más importante en el consumo energético de una instalación de conservación por frío, tanto por la proporción en que influye en las ganancias de calor, como por la dificultad de su modificación una vez construido o colocado. Las ganancias de calor a través del aislamiento dependen en gran medida de la geometría y disposición de los bloques de cámaras, que determinan la superficie exterior por metro cúbico interior.

- Cuanto mayor sea la altura de cámaras, menor será la superficie aislada.
- El tamaño en planta de los bloques de cámaras adyacentes conviene que sea el máximo posible.

Una vez establecida la superficie a aislar, las entradas de calor dependen de la naturaleza y espesor del aislante.

#### 3.4.6. Adecuación a la demanda de frío

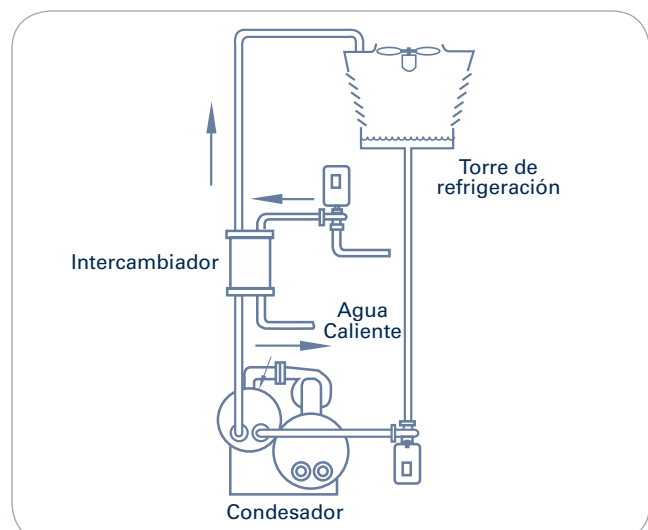
En toda instalación frigorífica existe un cambio continuo de la demanda de refrigeración, por lo que la producción frigorífica debe ser variable para satisfacer la demanda. Para lograr un buen ajuste entre la generación de frío y las necesidades del proceso existen varias opciones:

- **Variador de velocidad en el motor eléctrico.** Estos equipos reducen el número de revoluciones del compresor y por tanto reducen el volumen desplazado y la potencia frigorífica del compresor y del sistema de refrigeración. En este caso se reduce el consumo de motor eléctrico de forma casi lineal a la reducción de capacidad. Las limitaciones están en el diseño de los compresores y en la gestión de la lubricación y enfriamiento de las partes móviles.
- **Fraccionamiento de potencia.** Debido a las condiciones de los compresores y a las características de las plantas, con frecuencia existen varios compresores en una instalación que funcionan de manera coordinada por un sistema superior de mando. Cuando los compresores son de distinto tipo, su combinación permite un mejor acoplamiento a la demanda de la instalación. Por ello, en contra de la práctica habitual, se recomienda utilizar compresores de distintos tamaños en una misma instalación. La combinación de compresores de tornillo y compresores de pistones produce unos rendimientos energéticos muy altos. Cuando uno de ellos es controlado por un variador de velocidad el acoplamiento es casi perfecto.

#### 3.4.7. Recuperación de calor

El calor disipado en el condensador puede ser recuperado para otras aplicaciones de calentamiento. La forma más simple es conducir el agua de condensación a través de un intercambiador de calor, de modo que ceda su energía al fluido a calentar (precalentamiento de agua, ACS, etc.). El esquema sería el mostrado en la figura 7.

FIGURA 6  
Esquema de compresión mecánica de vapor.



## 4. Autogeneración

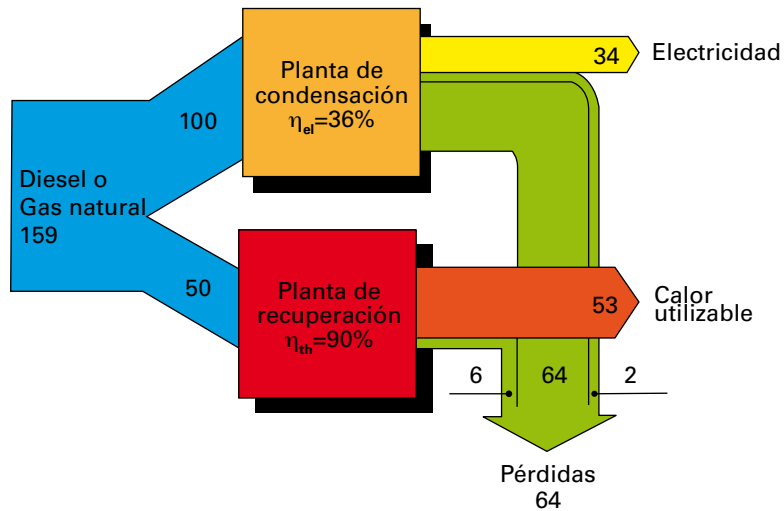
### 4.1. ¿Qué es la cogeneración?

Consiste en un sistema alternativo de generación eléctrica de alta eficiencia energética, que utiliza la producción conjunta de electricidad o energía mecánica y energía térmica útil para su aprovechamiento en procesos. Se obtiene un ahorro de energía primaria por el aprovechamiento simultáneo del calor y a la mejora del rendimiento de la instalación

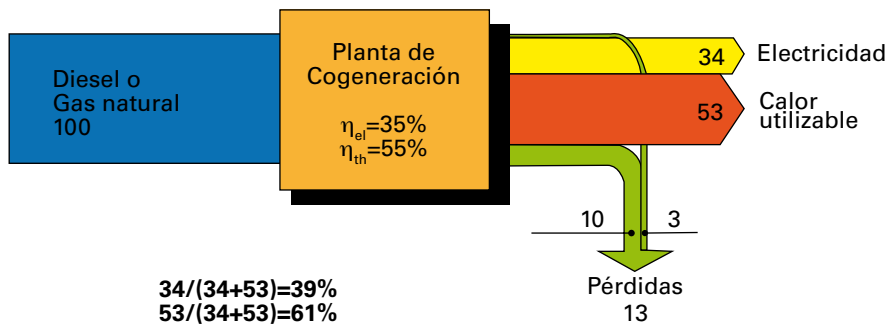
frente a una generación convencional. En el ámbito industrial ofrece numerosas ventajas:

- La generación se realiza en el propio lugar de consumo y se evitan pérdidas de transformación y transporte.
- El rendimiento del proceso alcanza hasta el 90%, frente al 65% de un sistema convencional.
- Potencia la seguridad del abastecimiento energético del usuario.

FIGURA 6  
Esquema de compresión mecánica de vapor.



Esquema de abastecimiento energético convencional.



Esquema de abastecimiento energético con cogeneración.

- Existen instalaciones adecuadas para cualquier rango de potencias tanto eléctricas como térmicas.
- Favorece la descentralización energética.
- Introduce tecnologías más eficientes y competitivas.
- Reduce el impacto medioambiental asociado a las actividades energéticas.
- Tiene un importante efecto diversificador de inversiones para el sector eléctrico.

## 4.2. Sistemas básicos de generación

**Cogeneración con turbina de gas.** El esquema general de funcionamiento consiste en la combustión de un combustible en una cámara, introduciéndose en una turbina los gases resultantes, donde se extrae el máximo de su energía, transformándola en energía mecánica. La energía residual, en forma de un caudal de gases calientes a elevada temperatura, puede ser aprovechada para satisfacer, las necesidades térmicas de proceso. Los gases de escape pueden ser utilizados directamente o bien en calderas de recuperación para la generación del vapor requerido por los procesos. En ambos casos existe la posibilidad de incrementar el contenido energético de los gases mediante quemadores de postcombustión.

**Cogeneración con turbina de vapor.** En esta turbina, la conversión en energía mecánica se produce por la expansión del vapor a alta presión procedente de una caldera. El sistema genera menos energía eléctrica (mecánica) por unidad de combustible que su equivalente con turbina de gas; sin embargo, el rendimiento global de la instalación es superior. Para la generación del vapor de partida se puede utilizar cualquier combustible, e incluso corrientes energéticas residuales de los procesos productivos.

**Cogeneración en ciclo combinado.** Aplicación conjunta de una turbina de gas y una de vapor, con todas sus posibles combinaciones en lo referente a tipos de combustibles utilizados, quemadores de poscombustión, salidas de vapor de turbina a contrapresión o condensación, etc. El rendimiento global de producción de energía eléctrica es mayor que las soluciones anteriores.

**Cogeneración con un motor alternativo.** Se obtienen rendimientos eléctricos más elevados pero con una mayor limitación en lo referente a aprovechamiento de la energía térmica, ya que posee un nivel térmico inferior y se encuentra repartida entre diferentes subsistemas (gases de escape y circuitos de refrigeración de aceite, camisas y aire comburente del motor). Los sistemas con motor alternativo presentan una mayor flexibilidad de funcionamiento, lo que permite responder de manera casi inmediata a las variaciones de potencia, sin que ello conlleve un gran incremento en el consumo específico del motor

## 4.3. Trigeneración

En ciertas industrias que precisan de sistemas de refrigeración para su proceso productivo, la integración de la instalación de frío dentro de un sistema de cogeneración permite la utilización de cierta parte de la energía generada para este fin. La producción conjunta de electricidad, calor y frío se denomina entonces trigeneración.

El esquema más habitual de este tipo de sistemas es el que se muestra a continuación, en el que el ciclo de refrigeración por compresión de vapor se sustituye por un ciclo de absorción que absorbe calor para su funcionamiento, permitiendo de esta forma utilizar parte del calor disipado por el motor o turbina para la refrigeración:

FIGURA 9  
Esquema de un sistema de trigeneración.

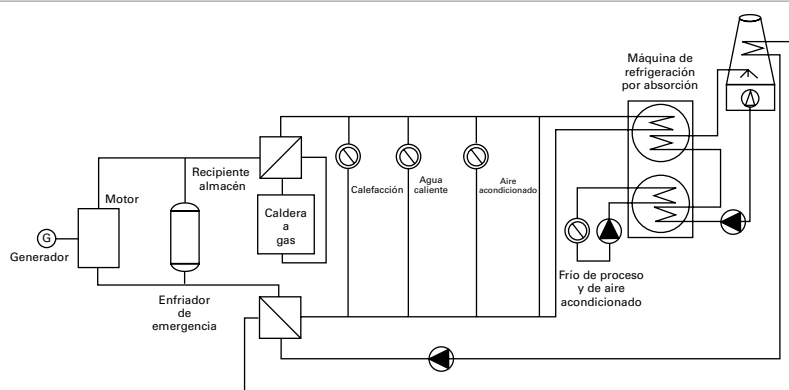


FIGURA 10  
Turbina de gas de ciclo simple.

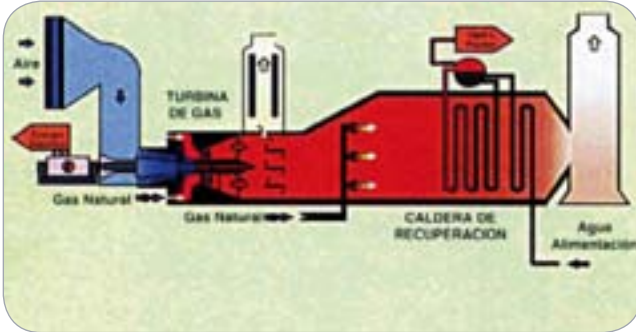
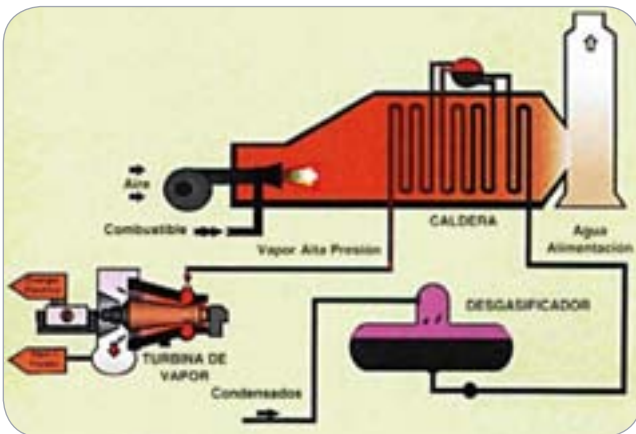


FIGURA 11  
Ciclo con turbina de vapor.



## 5. Buenas prácticas en transformación y uso de la electricidad

### 5.1. ¿Qué son las buenas prácticas?

A la hora de mejorar la eficiencia energética en cualquier ámbito, el primer enfoque ha de orientarse hacia las buenas prácticas de uso de la energía. Consisten en acciones simples que no implican una inversión grande, que pueden ser realizadas por cualquier persona sin necesidad de conocimientos técnicos específicos y van encaminadas a la reorganización del consumo energético con unos procedimientos rutinarios para mejorar la eficiencia energética de cualquier sistema y en particular en el ámbito industrial.

A continuación se detallan una serie de acciones de este tipo orientadas a asegurar el uso eficiente de los equipos e instalaciones más comunes en el sector industrial.

### 5.2. Motores eléctricos

- **Adquisición de nuevos motores.** Considere la eficiencia energética en los criterios de evaluación y selección de cada motor. Con motores de alta eficiencia se consigue un ahorro de energía que compensa la inversión adicional derivada de su compra. Su rentabilidad está contrastada en los siguientes casos:

- A partir de 2.000 horas de operación por año, los motores EFF1 son siempre más económicos.

- Para actuadores o tiempos de operación cortos, se obtienen beneficios adicionales. A menudo tienen una duración mayor que los motores estándar del mismo tamaño.

- **Exámenes periódicos de los motores.** Se debe realizar un examen periódico de los motores principales de cualquier instalación para identificar los que puedan ser reemplazados por otros de mayor eficiencia energética con un periodo de retorno de la inversión corto. Inicialmente debe centrarse en motores que excedan un tamaño mínimo y unas horas de operación al año. Un criterio típico de selección sería:

- Motores trifásicos con más de 10 kW.

- Al menos 2.000 horas de operación al año.

- Carga constante.

- Motores de eficiencia estándar viejos o rebobinados.

#### Arranque de motores

Compruebe que el arranque de los motores se hace de forma secuencial y planificada. Evite el arranque y operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, porque aumenta el consumo de energía debido a la sobrecarga que se produce.

#### Dimensionado de motores

Es importante que los motores operen con un factor de carga entre el 65% y el 100%. Considere reemplazar los motores que funcionen a menos del 40% de la carga por otros de inferior potencia. En las situaciones que requieran sobredimensionar debido a picos de carga, deberán considerarse estrategias alternativas, como un motor correctamente dimensionado apoyado por un motor de arranque.

FIGURA 12  
Ciclo combinado.

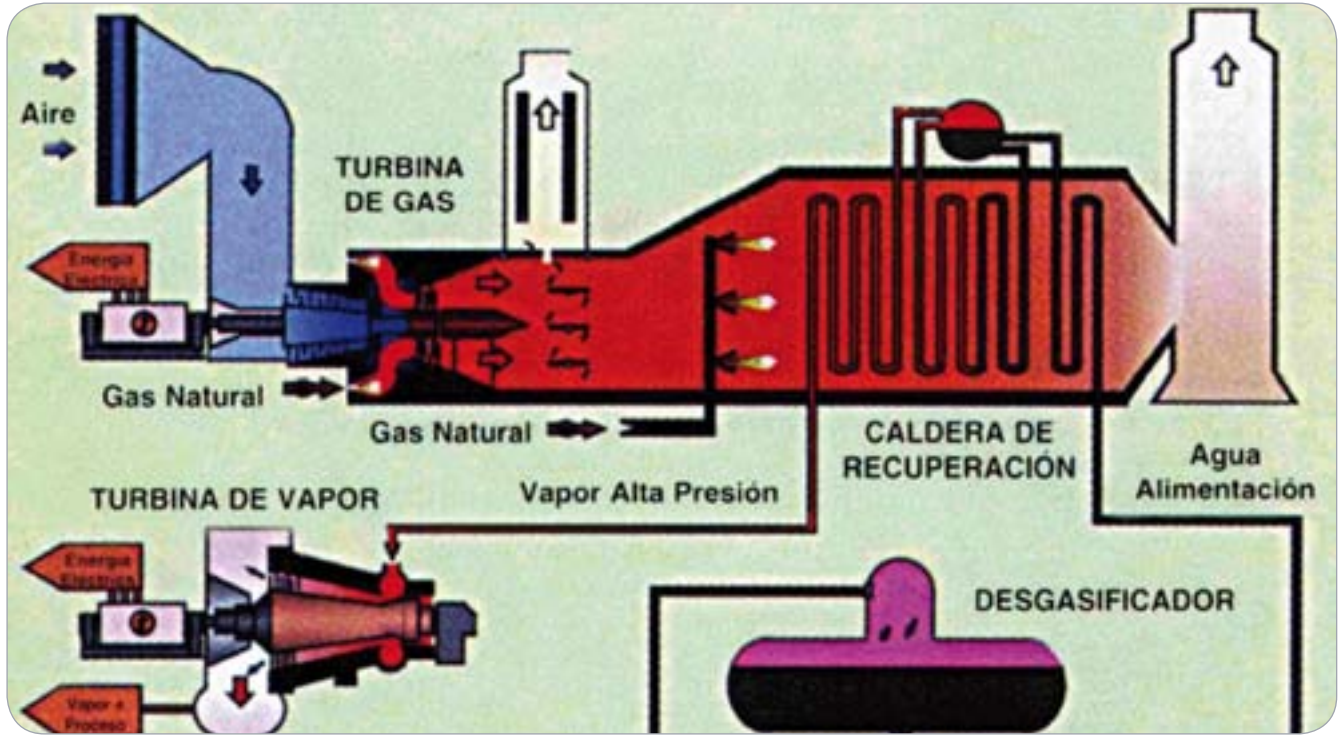
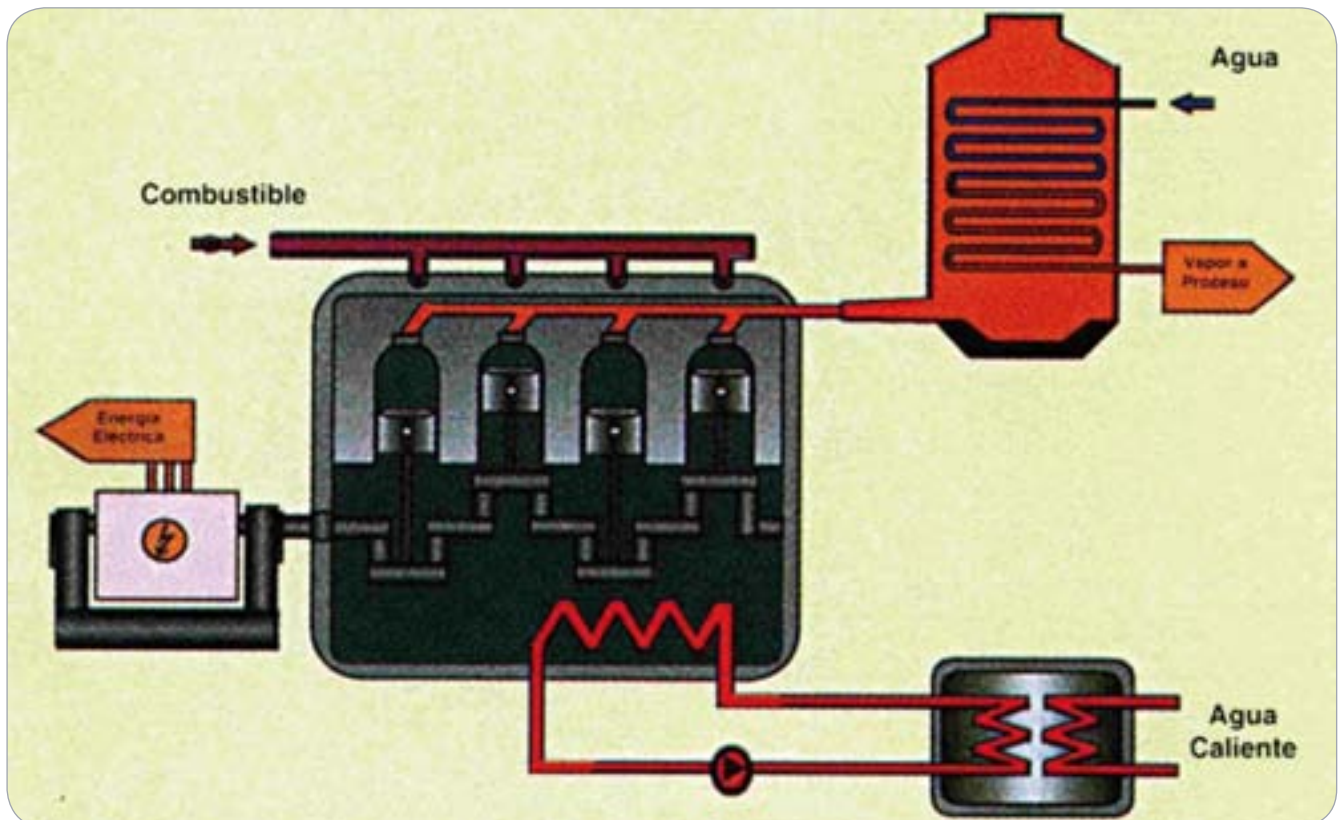


FIGURA 13  
Ciclo con motor alternativo.



**Factor de potencia**

Mantenga el factor de potencia por encima de 0,95. Si es inferior a este valor conviene instalar baterías de condensadores. Un factor de potencia bajo reduce la eficiencia del sistema eléctrico de distribución.

**Sistema de distribución**

Identifique y elimine las pérdidas en el sistema de distribución y revise periódicamente con el fin de descubrir malas conexiones, defectuosas puestas a tierra, cortocircuitos, etc. Estos problemas son fuentes comunes de pérdidas de energía y reducen la fiabilidad del sistema.

**Alineación del motor**

Verifique periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada, ya que una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

**Lubricación de los motores**

Aplique grasa o aceite de alta calidad de acuerdo a las especificaciones de fábrica para prevenir contaminación por suciedad o por agua e instale equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación. Una mala lubricación aumenta las pérdidas por fricción y disminuye la eficiencia.

**Revisión de la inercia de las cargas**

Cada motor tiene especificados unos valores de inercia estándar. Consulte las especificaciones del fabricante. El arranque de cargas con demasiada inercia provoca un calentamiento excesivo del motor, lo que puede afectar a la vida del aislamiento y por tanto a la vida del motor.

**Cambio de conexión en motores trifásicos de más de 5 kW**

Estudie la posibilidad de reconectar los bobinados de los motores a conexiones en estrella. Si un motor funciona continuamente a menos del 60% de su carga total la conexión en estrella resulta más económica

**5.3. Transformadores****Adquisición de un nuevo transformador**

Considere la eficiencia energética en los criterios de evaluación y selección de cada transformador. En las ofertas llave en mano, se suele comprar todo el equipamiento necesario de una instalación a un precio global, sin considerar la eficiencia energética de los transformadores. El periodo de retorno del sobrecoste de un transformador de alta eficiencia es de tres a siete años.

**Selección del transformador**

Para bajas cargas de trabajo seleccione transformadores de aceite y para cargas de trabajo altas seleccione transformadores secos. Estos últimos tienen las siguientes ventajas:

menores pérdidas ante cargas de trabajo mayores; menor generación de calor y envejecimiento en presencia de armónicos; no necesitan contenedor de aceite; mayor resistencia en ambientes húmedos; menor mantenimiento; mejor comportamiento en caso de incendio y menores problemas medioambientales. Pero tienen como inconvenientes unas mayores pérdidas en vacío y un mayor coste que los de aceite.

**Generación de armónicos**

Analice la viabilidad económica de comprar un transformador de alta eficiencia energética. En instalaciones con altos consumos eléctricos se generan armónicos que favorecen mayores pérdidas en los transformadores.

**5.4. Equipos eléctricos en general****Apagado de equipos**

Informe al personal del coste que supone mantener la maquinaria funcionando aunque no se necesite. Establezca un procedimiento que asegure el apagado de las máquinas en los periodos en los que no se trabaje con ellas (comidas, descansos, etc). La mayoría de los equipos industriales consumen grandes cantidades de energía aunque trabajen en vacío. Señalice con letreros en lugares estratégicos indicando los equipos auxiliares que deben ser apagados. Compruebe que se apagan los equipos auxiliares cuando los equipos a los que sirven no están en uso. Entre los equipos a comprobar están:

- Extractores locales de polvo y cabinas de pintura.
- Bombas de enfriamiento de agua.
- Bombas de vacío.
- Bombas de agua de lavado.
- Sistemas de cintas transportadoras.

**Carga de baterías de las carretillas**

Compruebe si tiene contratada o algún tipo de discriminación horaria que bonifique el consumo en estas horas. Realice las operaciones de carga de baterías en el periodo donde la tarifa sea más barata. Evalúe la rentabilidad de instalar un temporizador para realizar la operación de carga automáticamente al comenzar el periodo de tarifa baja.

**Instalación de controles automáticos**

Compruebe si las máquinas pueden ser equipadas con interruptores automáticos e instálelos si es posible. Los controles automáticos son más fiables que los manuales y pueden ser programados para que apaguen los equipos cuando estén funcionando en vacío.



## 5.5. Iluminación

Los sistemas de alumbrado de las empresas se suelen dejar en manos de los instaladores-mantenedores de los sistemas eléctricos de la empresa, buenos profesionales pero ajenos a la empresa y sus intereses. Con una dedicación propia no excesiva, pueden detectarse algunas mejoras, sin inversión, relacionadas con la gestión del alumbrado, la planificación y el mantenimiento.

En este aspecto hay que resaltar la gran importancia que puede tener una campaña de concienciación, ya que se estima que es posible ahorrar en gastos de iluminación hasta un 15% simplemente con un adecuado comportamiento del personal.

### 5.5.1. Revisión de los niveles de iluminación

Examine los niveles de iluminación en todas las zonas de trabajo, implicando al personal en esa tarea. En zonas no importantes reduzca la iluminación. Para ello:

- Suprima los puntos de luz superfluos.
- Sustituya luminarias.
- Anime al personal para que apague las luces innecesarias fuera de las horas de trabajo.
- Para trabajos específicos es conveniente instalar puntos de luz localizados.

Es muy común que las zonas no críticas, como pasillos, escaleras, etc., estén iluminadas excesivamente. También en las zonas más exigentes y, por tanto, más intensamente iluminadas (labores de precisión y diseño) suele mantenerse todo el alumbrado encendido durante las labores de limpieza y vigilancia. Cuando el diseño del alumbrado implica un nivel excesivo en muchas zonas, debe reducirse el nivel general y reforzar solamente las zonas que realmente lo requieran.

#### Aprovechamiento de la luz natural

La luz natural suele ser preferida por la mayoría del personal, por lo que la limpieza de las ventanas no debe controlarse únicamente por motivos de imagen y eficiencia energética. Se eliminarán los obstáculos que impidan la entrada de la luz o que proyecten sombras hacia el interior del local. Cuando la luz natural disponible es adecuada se puede disminuir la aportación del alumbrado artificial. La utilización de persianas y visillos es complementaria para evitar la entrada de calor en verano.

#### Iluminación de locales vacíos

Compruebe el estado y funcionamiento del alumbrado fuera del horario laboral. Sensibilice al personal de limpieza y segu-

ridad para que apaguen la luz al terminar sus respectivas tareas. La última persona que abandona el local debe apagar la luz; en su defecto, debería existir un sistema automático de control, ya que en caso contrario el coste del consumo eléctrico adicional puede ser significativo.

#### Identificación de los interruptores de la luz

Los interruptores deben disponer de rótulos explicativos que los identifiquen. Compruebe si todo el personal conoce el interruptor que enciende su zona de influencia. Los cuadros de luces centralizados sin rótulos inducen al personal a conectar todas las luces al desconocer cuál es el interruptor correspondiente.

#### Concienciación sobre el ahorro de energía

Interesa distribuir en lugares estratégicos de la empresa carteles y folletos explicativos para fomentar la concienciación de los empleados. Estas iniciativas suelen ofrecer resultados muy positivos, con disminuciones del gasto de hasta el 15%.

#### Alumbrado zonificado

En locales grandes se zonificarán convenientemente los circuitos de alumbrado para permitir el encendido independiente de cada grupo de luminarias. Ello permite iluminar únicamente la parte del local que va a ser ocupada y aprovechar la luz natural en las zonas más próximas a ventanas y lucernarios.

#### Comprobación del estado de las pantallas y difusores de luz

Los elementos descoloridos deben sustituirse. El coste aproximado de la sustitución de un difusor es de 9,5 €. Los elementos translúcidos (difusores y pantallas) reducen la aportación de luz. Si se degradan baja el rendimiento y es necesario encender más puntos de luz.

#### Aportación de luz natural y bancos o filas de luces de más de 10 tubos

Se deberían instalar fotocélulas para regular automáticamente la luz eléctrica en función de la aportación de luz natural.

#### Zonas de uso poco frecuente

Resulta conveniente la instalación de detectores de presencia por infrarrojos o de interruptores temporizados para el control automático del alumbrado en zonas de uso esporádico.

#### Lámparas fluorescentes de 38 mm de diámetro

Sustituir las lámparas de 38 mm de diámetro por otras de 26 mm, aunque la sustitución programada, en todo caso, se debería hacer según agote. El ahorro energético estimado es del 10%.

#### Lámparas incandescentes

Sustituya las lámparas incandescentes por fluorescentes compactas de bajo consumo, ya que combinando el menor

consumo de lámpara compacta (del orden del 20%) con la mayor duración y los menores costes de mantenimiento, la inversión se rentabiliza en un plazo de tiempo reducido.

#### Balastos electrónicos

En nuevos proyectos o ampliaciones instale lámparas fluorescentes con balasto electrónico en lugar de balasto electromagnético (oficinas, talleres con techos hasta 5 m y zonas comunes). Las ventajas son:

- Ahorro de energía (25%).
- Arranque más fiable y rápido.
- Eliminación del zumbido y parpadeo (efecto estroboscópico).
- Las lámparas duran más tiempo.

### 5.6. Aire comprimido

El rendimiento de una instalación de aire comprimido depende de múltiples factores como el funcionamiento del compresor y sus características, fugas existentes, pérdidas de carga excesivas que afectan a la potencia de las herramientas y equipos servidos, sistemas de control, etc. Con una dedicación propia no excesiva, pueden detectarse algunas mejoras sin inversión, relacionadas con la gestión de compresores, la planificación y mantenimiento (resultados inmediatos).

#### Coste del aire comprimido

El aire comprimido es un fluido energético cuya producción resulta muy cara. Cada m<sup>3</sup>/minuto supone un gasto energético de aproximadamente 1 c€. Incluyendo amortizaciones y mantenimiento, el reparto porcentual es el siguiente:

- Mantenimiento: 8%.
- Instalación: 4%.
- Inversión: 13%.
- Energía: 75%.

Es fundamental que el personal conozca y se mentalice del alto coste que supone la utilización de aire comprimido. La utilización de elementos gráficos como folletos, carteles, trípticos y materiales similares puede resultar muy efectiva para reducir la utilización del aire comprimido para usos no adecuados, como limpieza o secado, y para prestar mayor atención a las pérdidas por fugas.

#### Presión de generación del aire

La presión a la que se produce el aire comprimido ha de ser la mínima necesaria para asegurar el buen funcionamiento de los equipos de consumo. Se debe comprobar la presión mínima de trabajo de los equipos conectados y las pérdidas de presión en la red. El consumo de energía se incrementa al aumentar la presión de salida. Por ejemplo, si se trabaja a 6 bar en lugar de a 7 bar el ahorro energético alcanza un 4%.

#### Empleo de herramientas neumáticas

Compruebe que todas las herramientas trabajan a la mínima presión que asegure una elevada productividad, ya que a mayor presión, mayor coste energético. La presión de las válvulas reguladoras de las pistolas debe estar regulada a un máximo de 2 bar. Compruebe a menudo la presión de pistolas y etiquételas indicando la presión máxima permitida. Evite su utilización para usos no adecuados como limpieza y secado.

#### Existencia de tuberías o ramales de aire inutilizados

Deben localizarse e identificarse las tuberías de aire no utilizadas en la actualidad. Si está seguro de que no se van a utilizar, desmantele los circuitos. En caso contrario, corte la conexión y hágala estanca (CAP soldado, brida ciega, etc). Las tuberías y ramales no utilizados y que no están aislados se presurizan y vacían cada vez que se presuriza/despresuriza el sistema de aire. Estas tuberías y ramales pueden ser una fuente potencial de fugas.

#### Funcionamiento de compresores en vacío

Realizar ciertas comprobaciones para evitar el funcionamiento en vacío:

- Ajuste correcto de los temporizadores.
- Puesta en marcha sólo cuando hay demanda.
- Parada de los compresores si no hay demanda durante un periodo prolongado.

#### Programas periódicos de pruebas y reparación de fugas

Las fugas son responsables de la mayor parte de las pérdidas de eficiencia energética en estos sistemas (generalmente representan el 40% de todas las pérdidas). Establezca un programa trimestral de reparaciones. Las pruebas periódicas reglamentarias de recipientes a presión son un seguro antifugas.

### 5.7. Refrigeración

#### Realización de revisiones y mantenimientos

Realice un mantenimiento preventivo adecuado. Los equipos funcionarán en óptimas condiciones, evita averías, aumenta su vida útil y se optimiza el consumo energético:

- Limpieza de evaporador y condensador.
- Comprobar presiones de trabajo.
- Limpieza del interior de los recintos.
- Cierre hermético de puertas y estado de los burletes.

#### Túneles de congelación

Sustituya si es posible el compresor convencional de los túneles de congelación por un compresor de doble etapa, ya que éste desarrolla una potencia frigorífica muy superior (un 50%) a igualdad de potencia eléctrica del motor.

#### Ubicación de evaporadores y condensadores

Colocar el evaporador en las proximidades de la cámara o túnel de congelación. El condensador debe situarse a la intemperie o aspirando aire exterior. De esta forma funcionan de forma óptima, se reduce el número de desescarches necesarios y el consumo de energía.

#### Dimensionado del túnel o cámara

Si piensa adquirir un nuevo equipo frigorífico o renovar otro viejo, seleccione uno que se adapte a la carga que va a introducir, incrementándola con un cierto margen de seguridad, ya que un equipo sobredimensionado enfriará más aire del necesario, con mayor gasto energético.

#### Pautas de actuación en cámaras frigoríficas

- Evite la apertura de las puertas durante mucho tiempo al introducir y extraer productos.
- Evite la apertura simultánea de puertas enfrentadas para evitar corrientes en el interior de los espacios que desalojen el aire frío.
- Evite introducir productos calientes.
- Comprobar los cierres de refrigeradores y congeladores. Cambie las juntas de los cierres si muestran señales de desgaste o rotura.

- Instalar muelles cierrapuertas en las puertas de los arcones congeladores, de modo que éstas no se dejen abiertas.
- Instalar una manta filtrante en la toma de aire exterior de cada una de las salas de motores para evitar la entrada de suciedad y polvo.
- Limpiar la parte trasera de los equipos refrigeradores un mínimo de tres veces al año.
- Usar la temperatura máxima posible para conservar cada producto.
- Mantener los alimentos cubiertos para una mejor conservación y una menor acumulación de humedad en el interior de los aparatos.
- Adosar todas las cámaras. Así se disminuye la superficie de contacto exterior.
- No situar las cámaras cerca de hornos o fuentes de calor.
- Mantener descongelados y limpios los evaporadores, al igual que todas las superficies de transferencias. El espesor de la escarcha no debe superar como mucho los 6 mm.
- Ubicar los equipos refrigeradores lejos de fuentes que produzcan calor y de ventanas por donde entran los rayos del sol.
- Cuando los productos almacenados lo permitan, la descongelación de los evaporadores debe hacerse deteniendo la operación de los compresores.
- Cabinas refrigeradas: instale cintas plásticas o persianas en las cabinas refrigeradas para reducir las pérdidas de aire frío en las cabinas de alimentación.





## 04 | Eficiencia y Ahorro Energético en la Industria II

## 1. Tecnologías de generación y utilización de calor

### 1.1. Vapor

El vapor de agua es un fluido muy común en la industria que se utiliza para proporcionar energía térmica a los procesos de transformación de materiales. La eficiencia del sistema de generación, la distribución adecuada y control de su consumo tendrán un gran impacto en la eficiencia total de la planta. Esta situación se refleja en los costos de producción de vapor y, en consecuencia, en la competitividad de la empresa.

El vapor de agua es el conductor térmico preferido en la mayoría de aplicaciones de las instalaciones energéticas industriales debido a sus óptimas características para la transferencia de calor:

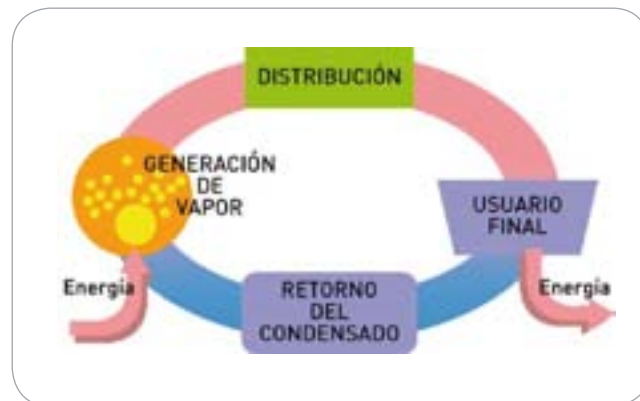
- El agua es un fluido barato y muy accesible.
- Permite un amplio rango de temperaturas de trabajo.
- Se transporta de forma fácil.
- Alto calor específico.
- Alto calor latente.
- No inflamable y no tóxico.
- Se puede regular la temperatura de condensación de forma fácil.

La generación de vapor se realiza en calderas mediante la aportación de energía a partir de combustible, y el vapor generado se transporta mediante tuberías a los puntos requeridos. Los procesos industriales que utilizan vapor para el aporte de calor son, en general, procesos con una alta demanda térmica, por lo que la potencia de este tipo de instalaciones de generación y distribución de vapor suelen ser de elevada potencia (del orden de MW). Estas dimensiones requieren una elevada inversión inicial y un cuidadoso diseño que tenga como uno de los objetivos principales la consecución de un óptimo rendimiento energético del sistema para evitar pérdidas e ineficiencias.

Los principales elementos de un sistema de generación y distribución de vapor son la caldera, la red de distribución a los puntos de consumo y el sistema de recogida de condensados. En los siguientes apartados se analizarán las características más importantes de los dos últimos, y se deja el análisis de la caldera para más adelante (apartado 2.1), ya que son elementos comunes con otros sistemas de distribu-

FIGURA 1

Ciclo ideal de generación y distribución de vapor.



ción de calor. Finalmente, en el último apartado se detallan algunas propuestas concretas para reducir el consumo energético en este tipo de instalaciones.

#### 1.1.1. Red de distribución

Es el conjunto de elementos que unen el generador de vapor y los equipos consumidores, y cierra finalmente el ciclo del vapor que retorna de nuevo a la caldera. Consta de una serie de tuberías aisladas y de ciertos elementos de regulación, control y seguridad, como pueden ser las válvulas reductoras y de seguridad, las trampas de evacuación de condensados y los purgadores.

Desde el punto de vista energético, los aspectos que tienen una mayor influencia en el rendimiento de la instalación son el diseño y dimensionamiento del circuito, el aislamiento de la red y la recuperación de condensados.



Red de distribución de vapor.

TABLA 1  
Tipos de aislamientos y características.

Tipo de material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura cara caliente (°C)	Temperatura cara fría (°C)	Conductividad (kcal/m <sup>2</sup> h °C)	
Coquilla de lana mineral	100	300	35	0,048	
		400	35	0,056	
Manta de fibra mineral	50	100	25	0,050	
		200	25	0,050	
		180	30	0,045	
		70	220	30	0,049
		100	300	35	0,051
		125	400	35	0,063
		500	40	0,059	
600	40	0,066			
Manta de fibra de roca	100	300	35	0,048	
		400	35	0,056	
Espuma de poliuretano expandido	-	-	38	0,036	

### Diseño y dimensionado del circuito

El principal parámetro de diseño de la red es el diámetro de las tuberías, ya que la temperatura y presión de trabajo están determinadas por los procesos consumidores y, por tanto, están fijadas. Cuanto mayor sea el diámetro de la tubería, menor será la pérdida de carga que hay que vencer pero la inversión se dispara, por lo que hay que llegar a un compromiso entre el diámetro de la tubería y el coste de la instalación. Si el diámetro elegido es demasiado reducido, la velocidad resultante del vapor será excesiva y originará una elevada pérdida de carga, un alto nivel de ruido y problemas de ajuste en los elementos de conexión.



Purga automática de vapor.

### Aislamiento

El aislamiento en tuberías, equipos y accesorios del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado, evitará pérdidas de calor hacia el ambiente. Es muy importante instalar, en cada tramo de tubería, el tipo y espesor óptimo de aislamiento (ver tabla 1).

Es conveniente revisar periódicamente el estado del aislamiento de los diferentes tramos de la red, sobre todo durante cualquier operación de mantenimiento o después de modificaciones en ella.

#### 1.1.2. Recogida de condensados

Tan pronto como el vapor deja la caldera, empieza a ceder parte de su entalpía a cualquier superficie con menor temperatura. Al hacer esto, una parte del vapor se condensa, transformándose en agua a la misma temperatura. La presencia de líquido en el interior de las tuberías y demás elementos de distribución de vapor es muy perjudicial para su funcionamiento ya que produce un mayor desgaste y vibraciones en los elementos, por lo que es necesario separar y recoger este condensado mediante una serie de trampas o purgadores en los lugares apropiados para retornarlos de nuevo al generador. Con ello se pretende recuperar no solo la masa de agua tratada, sino también la energía térmica contenida en ella.

Hay diferentes tipos de trampas de vapor en función del origen del condensado (red de transporte o equipo de intercambio). Es preferible que sean equipos automáticos por razones de operatividad y de eficacia del sistema.

El revaporizado se forma cuando el condensado pasa a una presión inferior (es decir, en el punto de purga). Se forma en el orificio de descarga del purgador y en el espacio posterior, que es donde se produce el descenso de presión. En ese momento el sistema de retorno de condensados debe admitir al condensado y al revaporizado. Para recuperar y aprovechar el revaporizado hay que separarlo del condensado mediante un tanque de revaporización.

Las ventajas de recuperar los condensados son las siguientes:

- Se recupera la energía de los condensados.
- Se reducen las pérdidas en purgas de las calderas.
- Disminuye el consumo de agua tratada y su coste ya que el tratamiento resulta costoso.
- El coste de la producción de vapor se reduce.

## 1.2. Agua caliente

El agua caliente no es utilizada tan frecuentemente en los procesos industriales como fluido térmico, y su uso se restringe a procesos de calentamiento que requieren potencias reducidas o aplicaciones de calefacción especiales.

Las ventajas que ofrece la utilización de agua caliente como fluido térmico son las siguientes:

- En algunas conducciones de productos que deben calentarse con calor de acompañamiento es interesante la utilización de agua caliente y no vapor, sobre todo por razones de seguridad. Las instalaciones de agua caliente pueden trabajar a una presión inferior.
- Supone una mayor simplicidad de los equipos.
- Al trabajar a una temperatura inferior se producen menos pérdidas por radiación y, por tanto, una mayor economía en aislamientos.

## 1.3. Aceite térmico

Hay procesos físicos y químicos que necesitan grandes cantidades de calor a elevadas temperaturas. Si se empleara un gas de escape de una combustión, habría que prever grandes superficies de intercambio en el cambiador de calor o bien habría que

trabajar con diferencias de temperaturas muy grandes. Sin embargo, en este caso existe el gran peligro de sobrecalentamiento del producto que se quiere calentar. Empleando agua o vapor de agua saturado como fluido calefactor no se tienen estos inconvenientes, pero obligaría a trabajar con altas presiones. Se considera que el campo de las altas temperaturas de calentamiento de los procesos comienza al sobrepasarse los 200 °C. El costo de los equipos de calentamiento que se van a utilizar, con vapor a alta presión, es muy elevado.

Para evitar estos inconvenientes se recurre a la utilización de aceites térmicos de alto punto de ebullición, que ofrecen ciertas ventajas:

- Las superficies de intercambio térmico en el intercambiador de calor son reducidas, con ligeras diferencias de temperatura, por lo que este equipo resulta más sencillo y económico.
- El coste de tuberías y accesorios también resulta más económico por la reducción del diámetro de la red.
- No existen condensaciones, por lo que la red se simplifica al no ser necesarios purgadores ni redes de retorno de condensado. El nivel de seguridad de la red es menos exigente que en el caso del vapor.

Los aceites térmicos han de tener una serie de características que los hacen adecuados para su aplicación como fluidos térmicos, como son:

- Alto calor específico.
- Bajo coste.
- Larga duración.

Un criterio esencial para la selección de un fluido térmico es su estabilidad térmica, ya que por ella se rigen, con una temperatura de proceso dada, su duración y el tamaño de los generadores de calor y consumidores. Normalmente, los fabricantes de fluidos térmicos suelen dar las "temperaturas de empleo máximas," cuyos valores dependen tanto de las propiedades químicas y físicas de las sustancias, como de las condiciones técnicas de empleo y de criterios económicos. Los fluidos térmicos tienden a la oxidación al entrar en contacto, a altas temperaturas, con el oxígeno del aire. Se recomienda proteger las instalaciones con nitrógeno.

## 1.4. Gases calientes

Los gases calientes son generados por equipos de calentamiento como calderas y hornos. Uno de los residuos de estos procesos de calentamiento es algún tipo de gas cuya



temperatura es lo suficientemente alta como para poder ser aprovechada en otros procesos de calentamiento a una temperatura inferior. El caso más común es el de la combustión en calderas o motores: los gases de escape son expulsados al exterior a través de la chimenea a gran temperatura, variable en función del tipo de caldera y aplicación. Al ser elevada la temperatura de salida de los gases, estos contienen gran cantidad de energía térmica que es posible aprovechar en procesos de calentamiento auxiliares.

A continuación se comentan las diferentes posibilidades de recuperación de energía en distintos flujos de gases de uso común en la industria.

#### 1.4.1. Recuperación de calor de los gases de combustión

Existen en la industria una gran cantidad de procesos de combustión para multitud de aplicaciones. En la mayoría de las ocasiones la energía contenida en los gases de escape puede ser aprovechada debido a que la temperatura y el flujo de gases son lo suficientemente elevados como para que la recuperación de calor para otros procesos resulte económicamente viable.

Existen en el mercado varios modelos de recuperadores de calor, aunque la mayoría de ellos suelen estar hechos a medida en función de las necesidades propias de cada proceso en particular. Consisten en un intercambiador de calor humos –aire o humos– agua, dependiendo del fluido que circule por el circuito secundario (fluido que hay que calentar). Se conecta a la salida de la caldera o de la cámara de combustión. La energía recuperada puede llegar hasta el 20% del consumo de combustible. Suelen construirse en acero cromo, níquel y molibdeno (Cr-Ni-Mb) para evitar problemas de corrosión debidos a la condensación de los gases de combustión.

#### 1.4.2. Quemadores autorrecuperativos y regenerativos

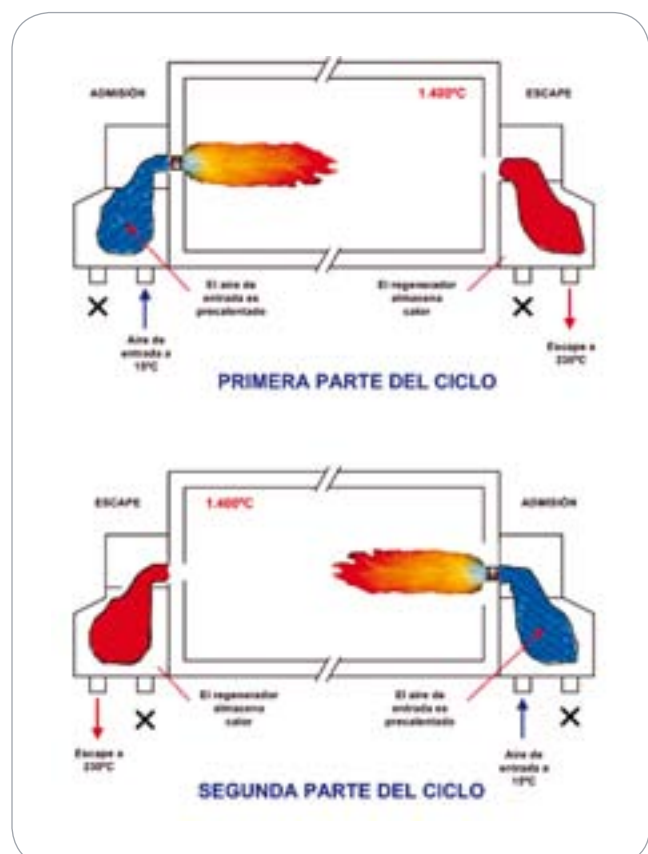
Existe una gama especial de reciente desarrollo de quemadores de alta potencia que llevan integrado el sistema de recuperación de calor. Son adecuados para potencias de calentamiento muy elevadas (a partir de 100 kW). Existen dos tecnologías diferentes:

- Quemadores autorrecuperativos: este sistema consiste en un quemador en el que hay circulación de dos flujos de gases por dos conductos concéntricos. Por uno de ellos circulan los gases de combustión procedentes de la cámara de combustión y ceden parte de su energía al aire de entrada que circula por el conducto exterior. De esta forma, el aire de entrada es precalentado y se logra

un aumento del rendimiento de la combustión. El ahorro energético que se puede conseguir depende de la temperatura a que se precaliente el aire primario de combustión. Para una temperatura de régimen de 650 °C se puede conseguir un precalentamiento de 250 °C, que puede suponer un ahorro de combustible del 12% para un régimen nominal de carga. Este tipo de quemadores son de uso habitual en hornos de la industria cerámica y metalúrgica.

- Quemadores regenerativos: en este caso se utilizan uno o varios pares de quemadores situados en lados opuestos de la cámara de combustión. Funcionan alternativamente por ciclos de varios minutos, de forma que en un ciclo, uno de ellos actúa como quemador y el otro como vía de escape de los gases de combustión. De esta forma, este último se calienta y al cabo de un período de tiempo regulable (minutos) se alternan en su funcionamiento. El aire de entrada es desviado entonces hacia el quemador que se ha calentado previamente, por lo que se logra de esta forma un precalentamiento del aire de combustión. El ahorro de combustible puede ser significativo (hasta el 50% según el Documento de referencia de mejores técnicas disponibles en la industria de procesos de metales féreos, Ministerio de Medio Ambiente).

FIGURA 2  
Quemadores regenerativos.



### 1.4.3. Recuperador de calor en sistemas de climatización

A menudo el aire del interior de las naves industriales necesita ser calentado en la temporada invernal para mantener un adecuado confort en ellas. Como también es necesario mantener una cantidad mínima de aire de renovación exterior, es posible precalentarlo aprovechando el aire caliente que se evacua de la nave, reduciendo de esta forma el gasto energético en calefacción. Este sistema resulta económico únicamente en los sistemas de climatización de naves de gran tamaño.

FIGURA 3  
Esquema de recuperador de calor en equipo de climatización.



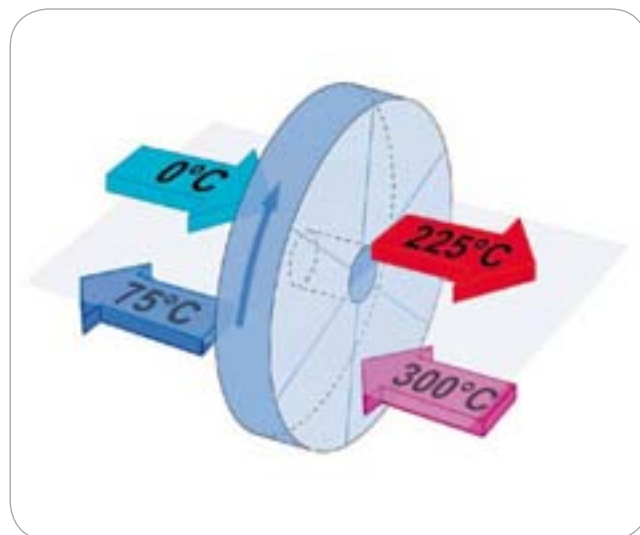
### 1.4.4. Recuperador de calor entálpico

Otro tipo de aplicaciones en las que es posible la recuperación de calor son aquellas que requieren de grandes volúmenes de extracción de aire a temperatura superior a la ambiente, como por ejemplo las cabinas y túneles de pintura en la industria del automóvil. En este tipo de instalaciones es necesario renovar continuamente el aire interior para eliminar las partículas de pintura suspendidas. Como el aire del interior ha de ser previamente calentado por requerimientos del proceso, se puede recuperar parte de su energía para precalentar el aire de renovación que se toma del exterior. Aunque el aumento de temperatura que se consigue es mínimo (del orden de 1 °C a 5 °C) ya que la temperatura del aire interior no es muy elevada (de 30 °C a 40 °C), el gran volumen de aire necesario supone que la cantidad de calor recuperada sea significativa y conlleve un ahorro energético considerable (hasta el 25% del consumo del proceso). Este tipo de recuperadores se llama entálpico, y la configuración más habitual es la mostrada en la imagen, que consiste en una rueda

metálica giratoria conectada a los dos flujos de aire, el de extracción y el de renovación. Dicha rueda actúa como acumulador dada su gran masa térmica, y permite la transferencia de calor de uno a otro flujos. Su eficiencia es muy elevada (hasta el 90%).

En instalaciones industriales los recuperadores de calor se fabrican en la mayoría de las ocasiones a medida para el proceso del que se pretende recuperar energía. Los hay también para aplicaciones especiales como recuperación de calor de gases de combustión, ambientes corrosivos, altas temperaturas, etc.

FIGURA 4  
Esquema de recuperador entálpico.



## 2. Tecnologías básicas

### 2.1. Calderas

Una caldera consiste en un intercambiador de calor en el que la energía se aporta mediante un proceso de combustión, o también por el calor contenido en un gas que circula a través de ella. En ambos casos, el calor aportado se transmite a un fluido que suele ser agua o vapor.

Se debería prescindir de las calderas eléctricas debido a su baja incidencia actual en instalaciones de tipo industrial, ya que resultan antieconómicas para aplicaciones que requieran una potencia calorífica moderada o grande.

Para facilitar la identificación de los diferentes tipos de calderas, se procederá a clasificarlas por sus características más peculiares.



#### Caldera de aceite.

En función del fluido caloportador existen varios tipos de calderas:

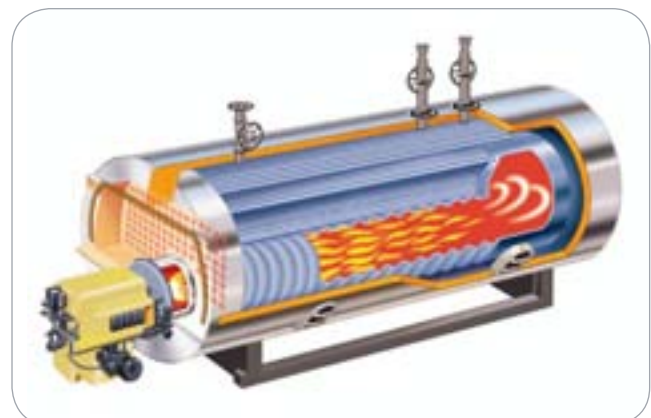
- **Generadores de vapor:** para aplicaciones directas en procesos de producción. El vapor generado a alta presión es sobrecalentado y primeramente se utiliza para producir energía eléctrica propia accionando un grupo turboalternador y utilizando el vapor de contrapresión a su salida para las aplicaciones directas en los procesos de producción.
- **Generadores de agua sobrecalentada:** empleado en calefacción industrial de las propias naves y para aplicaciones directas en los procesos de producción.
- **Generadores de aceite térmico:** existe toda una gama completa de calderas de aceite que permiten aprovechar las ventajas ya descritas de este fluido. Este tipo de calderas son muy parecidas en su construcción a las calderas de vapor pero están sometidas a unas exigencias menores en cuanto a seguridad ya que trabajan a presión reducida porque no se produce en su interior ningún cambio de fase del fluido. Además tienen un rendimiento superior a las calderas de vapor ya que se evita la necesidad de recuperación de condensados, que no siempre es completa.

- **Generadores de agua caliente:** en la mayoría de las industrias existe algún proceso que requiere de calentamiento auxiliar de reducida o moderada potencia. En estos casos no es interesante la instalación de complejos sistemas de calentamiento mediante vapor o agua sobrecalentada a no ser que exista la posibilidad de aprovechar calores residuales de otros procesos. La opción más interesante es el calentamiento mediante generadores de agua caliente que elevan la temperatura del agua hasta temperaturas reducidas, ya sea mediante combustión o mediante calentamiento eléctrico en depósitos de acumulación. Los acumuladores eléctricos tienen una eficiencia muy reducida y deben ser utilizados únicamente en caso de consumos muy concretos y reducidos.

En función del diseño de la superficie de intercambio existen dos tipos de calderas:

- **Caldera piro tubular:** Su característica principal es que la llama de la combustión se forma dentro de cada hogar cilíndrico de la caldera. Los gases de combustión generados pasan por el interior de una red con gran cantidad de tubos para que el sistema tenga la mayor superficie posible de intercambio. Esta red de conductos se encuentra en el interior de la virola completamente inmersa en el agua que se va a calentar. Para generar vapor, se regula el nivel medio del agua en su interior, de forma que varíe dentro de una banda prevista, y su cámara superior sirve de separador del vapor generado, desde donde sale al consumo por la tubuladura de salida. Para generar agua sobrecalentada, la caldera está completamente inundada. Los conductos de entrada y salida de agua son iguales. Las calderas para el calentamiento de fluido térmico son similares a las de generación de agua sobrecalentada, pero más simples en su construcción.

FIGURA 5  
Esquema de una caldera piro tubular.



- **Caldera acuotubular:** Su característica principal es que la llama de los quemadores se forma dentro de un recinto formado por paredes tubulares en todo su entorno, que configuran la llamada cámara de combustión. Los humos generados pasan por el interior de los pasos siguientes, cuyos sucesivos recintos están también formados por paredes tubulares en su mayoría. La cualidad que diferencia a estas calderas es que todos los tubos que integran su cuerpo están llenos de agua o, al menos, llenos de mezcla agua vapor en los tubos hervidores, en los que se transforma parte de agua en vapor cuando se genera vapor como fluido final de consumo. Estas calderas pueden generar indistintamente vapor o agua sobrecalentada. Cuando se destinan a la generación de vapor disponen de un calderín superior y, normalmente, de otro inferior. El calderín superior trabaja como separador del vapor generado y el inferior como distribuidor del agua a través de los tubos hervidores. También disponen de un paquete tubular de precalentamiento del agua de alimentación, llamado economizador, que se puede instalar fuera del cuerpo de la caldera en calderas de mediana potencia, o dentro de éste en calderas de gran potencia. En estas calderas el flujo por los tubos hervidores se realiza mediante circulación natural. En las de mediana potencia es opcional la previsión de un sobrecalentador del vapor generado; en las calderas de gran potencia, siempre se prevé este sobrecalentador, ya que supone un ligero aumento del rendimiento del equipo. Cuando las calderas se destinan a la generación de agua sobrecalentada no disponen de calderines, y la distribución de agua a los tubos de las paredes se realiza por medio de colectores.

En las calderas acuotubulares la circulación del agua por su interior es forzada por medio de las bombas de circulación. En las calderas de generación de vapor se regula el nivel medio de agua en el calderín superior, de forma que varíe dentro de un intervalo previsto. La cámara superior sirve de separador del vapor generado, desde donde va al conducto de consumo por la tubuladura de salida.

## 2.2. Hornos

Se denominan hornos industriales a los equipos o dispositivos utilizados en la industria en los que se calientan las piezas, elementos, o materias colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El calentamiento puede servir para diferentes aplicaciones, como:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformado posterior.

- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos.

La primera distinción que se puede realizar es en función del sistema de calefacción del horno. Se puede distinguir entre hornos de combustión y hornos eléctricos:

### 2.2.1. Hornos de combustión

En ellos la generación de calor se produce mediante combustión, principalmente de gas o de otros hidrocarburos. La principal característica de operación de un horno de combustible es la temperatura interior máxima que puede alcanzar, que está limitada por su temperatura de llama. Los factores que influyen en esta temperatura son los siguientes:

- Poder calorífico efectivo del combustible: depende de la temperatura real de operación.
- Exceso de aire: una cantidad de aire comburente superior a la estequiométrica (la teóricamente necesaria para asegurar la combustión completa), produce mayor cantidad de gases de combustión y por tanto el calor absorbido por dichos gases es mayor, por lo que disminuye la eficiencia del horno.
- Temperatura de entrada de combustible y comburente: cuanto más elevada sea esta temperatura, menor es la necesidad de combustible para disipar la misma cantidad de energía. Por ello es muy recomendable la utilización del precalentamiento del aire comburente.
- Velocidad de combustión: si la combustión es instantánea, toda la energía liberada se convierte en calor. Cuanto mayor sea la velocidad, las pérdidas de calor por radiación son menores al ser este absorbido rápidamente por los productos.

### 2.2.2. Hornos eléctricos

El empleo de la electricidad como fuente de calor constituye una práctica ineficiente por el proceso intrínseco de transformación, ya que procede en su mayor parte de la combustión de hidrocarburos (el rendimiento máximo de generación eléctrica en una central térmica no supera el 33%). Sin embargo, en muchos procesos su sustitución por hornos de combustión obligaría a un consumo equivalente mucho mayor. Este resultado se explica al tener en cuenta los rendimientos reales de todos los consumos de la cadena energética en una factoría. La electricidad no necesita de un fluido

caloportador, ya que puede ser transformada en calor en el propio punto de consumo mediante diversos procesos como:

- Arco eléctrico.
- Resistencias (efecto Joule).
- Radiación infrarroja, ultravioleta, etc.
- Plasma.
- Bomba de calor.

Atendiendo al proceso de conversión de la energía eléctrica, los hornos más habituales son los que se indican a continuación:

#### Hornos por resistencia

El calor es producido por la disipación de la energía de un material conductor al ser atravesado por una corriente eléctrica mediante la aplicación de una diferencia de potencial en sus extremos. El proceso es diferente en función de que el elemento atravesado por la corriente coincida o no con el producto que se va a tratar:

- **Calefacción directa:** la corriente atraviesa el producto, pieza o sustancia que se va a tratar. Es necesario que el material sea conductor de la electricidad. Son de gran aplicación en la industria del vidrio y en la del carbonato cálcico.
- **Calefacción indirecta:** las resistencias suelen estar fabricadas a base de aleaciones de níquel-cromo, hierro-cromo-aluminio, hierro-cromo-aluminio, hierro-cromo-aluminio-cobalto (Ni-Cr, Fe-Cr-Al, Fe-Cr-Al-Co), o de grafito.

FIGURA 6  
Esquema de un horno con electrodos.



#### Hornos de arco

El calor es producido por la ionización de un gas a muy alta temperatura (superior a 5.000 °C) mediante electrodos, de modo que el propio gas actúa como resistencia eléctrica y es capaz de mantener elevadas temperaturas y lograr transferencias de calor muy elevadas. Permiten el uso de atmósferas controladas. Estos equipos tienen un crisol o cuerpo de placa de acero forrado con refractario y su bóveda está construida también con refractario refrigerado con agua. Para la carga del horno los electrodos y la bóveda se mueven y dejan descubierto al crisol, en el que se deposita la carga por medio de una grúa viajera.

Debido a su capacidad para obtener altas temperaturas, se utilizan fundamentalmente en procesos de transformación que requieran gran aporte de energía, como la industria química (acetileno, ácido nítrico, etc.), así como en la industria del acero. En este caso la carga del horno ha de ser con chatarra de acero de alta calidad. Son utilizados para la fusión de aceros para herramientas, de alta calidad, de resistencia a la temperatura o inoxidable.

#### Hornos eléctricos de inducción

En este caso el principio de funcionamiento es la inducción de corriente eléctrica en la carga. Se aplica una corriente alterna de alta frecuencia a una bobina que rodea la pieza que se va a calentar. Esta corriente genera a su vez un campo magnético que atraviesa la pieza y genera en ella una corriente eléctrica, de modo que se calienta debido a su resistencia.

Las ventajas del horno eléctrico de inducción son las siguientes:

- Alta eficiencia energética.
- Limpieza: el control preciso de temperatura permite reducir la formación de escorias y residuos y, por tanto, la necesidad de limpieza del horno.
- Posibilidad de utilizar atmósferas inertes e incluso vacío.
- Control muy fino de la temperatura: permite un ajuste muy exacto de la temperatura en cada punto de la masa que se va a calentar.

La aplicación principal de este tipo de hornos es la industria siderúrgica para la fusión y purificación de aceros especiales y aleaciones, tratamientos térmicos (en especial endurecimiento de superficies) y el calentamiento previo de piezas de acero para someterlas a conformado por forja o estampación.

### 2.2.3. Tipos de hornos

Existe una innumerable variedad de tipos de hornos industriales debido a la gran especialización de este tipo de equipos para productos específicos. Cualquier criterio de clasificación tiene como resultado un gran número de grupos por lo que no existe un criterio claro que permita clasificarlos de una manera clara y concisa. A continuación se va a hacer referencia a varios tipos de hornos utilizados frecuentemente en la industria, que pretenden ser una muestra representativa de la gran variedad existente:

#### Altos hornos

Se denomina así a las plantas de obtención de acero y fundiciones. Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con material refractario. La parte inferior del horno está dotada de toberas por donde introduce aire para permitir la combustión del coque. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que se vacía el arrabio o acero líquido. Como la combustión de la carga produce gran cantidad de escoria, también hay conductos para su recogida situados por encima del conducto de vaciado. La parte superior del horno contiene respiraderos para la salida de los gases de escape y tolvas por las que se introduce el mineral de hierro, el coque y la caliza.

#### Horno de crisol

En él la carga es depositada en un recipiente o cuba, ya sea metálico o de material refractario. El calentamiento se realiza normalmente mediante métodos eléctricos. Habitualmente tiene pequeña capacidad y suele ser utilizado en hornos de fusión de metales por inducción.

#### Horno de reverbero

En este tipo de hornos el calor obtenido mediante combustión es reflejado en una superficie refractaria hacia el lugar donde se sitúan las piezas o el material que se va a calentar. De esta forma se logra una adecuada distribución de temperatura en toda la superficie de calentamiento y se minimiza la formación de escoria. Se utilizan habitualmente para la fusión de concentrados de minerales.

#### Horno rotativo

Está constituido por un cilindro metálico de gran longitud, cuyo eje está inclinado respecto a la horizontal. Al eje se le imprime un movimiento de rotación, de forma que la carga del interior avanza por la gravedad hacia el final del cilindro. En sentido contrario al movimiento de la carga se introducen los gases de combustión. Suelen contar con precalentamiento de aire ya que el de alimentación de los quemadores puede ser conducido por el canal de salida del producto caliente, absorbiendo de esta forma parte del calor residual del producto.

Es un tipo de horno muy versátil y apto para trabajar con materiales sólidos, fangosos e incluso líquidos.



Horno de reverbero.

### 2.2.4. Propuestas de mejora de la eficiencia energética en hornos

La eficiencia energética de un horno depende fundamentalmente de la aplicación a la que vaya destinado, ya que el material y las características del producto a tratar determinan por completo la temperatura, tiempo y condiciones del tratamiento que se va a efectuar. Por ello cada aplicación suele llevar aparejado un tipo de horno en particular que determina la eficiencia del proceso.

Sin embargo, la mayoría de los hornos tienen ciertos elementos o características comunes que permiten evaluar la eficiencia entre dos hornos del mismo tipo. Las más determinantes son:

- **Aislamiento:** la diferencia de temperatura entre el interior del horno y el ambiente determina las pérdidas de energía por conducción. Por tanto el espesor y calidad del aislamiento han de ser mayores cuanto más elevada sea la temperatura interior de trabajo del equipo. Los defectos de aislamiento suponen un importante foco de pérdidas. Conviene revisar periódicamente el estado de la capa de aislante y hacer mediciones de la temperatura superficial de las paredes para asegurar que las pérdidas por este concepto se mantienen dentro de un margen aceptable.
- **Régimen de funcionamiento:** el modo de carga y descarga de los hornos, así como el tiempo entre tratamientos sucesivos influyen en las pérdidas de calor a través de puertas y aberturas. En hornos discontinuos la apertura de puertas conlleva el escape de cierta cantidad de aire caliente de su interior que es necesario calentar posteriormente. En los hornos continuos estas pérdidas son inferiores. Por ello son más adecuados cuando la cantidad de producto que se van a tratar es elevada.



Aislamiento en horno.

- **Recuperación de energía:** en los hornos de combustión es posible acoplar un recuperador de calor de los gases de combustión para precalentar el aire de entrada a los quemadores, tal como se describe en el apartado relativo a la recuperación de calor en los gases de combustión, e incluso dotarlos de quemadores especiales que permitan integrar esta recuperación de calor. En cuanto a los hornos eléctricos, se puede recuperar, por ejemplo, la energía del agua de refrigeración de hornos de inducción. Mediante un sistema de intercambiadores de calor y ajustando la temperatura de salida del agua, se puede conseguir una recuperación de energía de hasta el 12% de la energía disipada.
- **Regulación de temperatura:** un buen sistema de regulación de la temperatura en el interior del horno asegura un consumo energético ajustado a las necesidades del proceso. En este sentido, se ha producido un enorme avance gracias al desarrollo de las aplicaciones electrónicas de control de temperatura.

## 2.3. Secaderos

El secado consiste en la transferencia de energía en forma de calor y de masa (normalmente vapor de agua), al ambiente para reducir el contenido en líquido de un producto. El líquido extraído suele ser agua, pero también puede ser algún tipo de disolvente orgánico o inorgánico. Constituye una operación energética básica en la industria, aunque no siempre puede estudiarse por separado de otras operaciones con las que guarda gran relación, como tratamientos térmicos, horneados, etc.

Incluye dos tipos diferenciados de procesos:

- **Procesos de desecación térmica:** secado por aportación de energía térmica.
- **Procesos de desecación física:** el secado se realiza por procedimientos físicos o mecánicos: escurrido, filtración, presión, centrifugado, etc.

Se puede considerar que el 11% del consumo energético industrial es debido a los procesos de secado. La incidencia de este consumo varía sensiblemente de un sector industrial a otro, y son las industrias siderúrgica y química las que registran unas mayores necesidades energéticas en procesos de secado.

### 2.3.1. Tipos de secaderos

Existe una enorme variedad de secaderos, debido a la diversidad de productos que se van a tratar, de fluidos de secado y de materiales empleados en su construcción.

Las variables más utilizadas para clasificar y analizar los secaderos son las siguientes:

- **Tipo de propagación de calor** (convección, conducción, radiación).
- **Presión utilizada:** normal, vacío, sobrepresión.
- **Movimiento de la carga:** fijo, por gravedad, parrilla móvil, etc.
- **Sentido de la corriente de secado:** contracorriente, en paralelo, etc.
- **Dispositivos especiales:** bandejas, cintas, cilindros, tambores, etc.

La clasificación más general que se puede hacer es en función del método de transferencia de calor. De acuerdo con este criterio se efectúa la siguiente clasificación:

#### 2.3.1.1. Secaderos de calentamiento directo

El fluido de secado (aire, gases de combustión, etc.) es conducido a través del secadero, de forma que existe contacto directo con el material que se ha de secar.

#### Secaderos de túnel

Consiste en un túnel cerrado a lo largo del que avanza el material o piezas que se van a secar. El sistema de tracción puede ser muy variado: banda de transporte, bandejas, rodillos, carretillas, etc. La velocidad de transporte es variable en

función del tamaño de las piezas o del grano del material (en el caso de graneles). El secado se produce por un flujo de aire caliente en contracorriente. El funcionamiento es continuo y con calefacción directa. Es utilizado en el secado de grandes cantidades de producto, particularmente en el caso de graneles sólidos.

### Secaderos espray

La aplicación más habitual de este tipo de secaderos es en la deshidratación de disoluciones. El nombre hace referencia a la pulverización de la disolución sobre una corriente de aire. La configuración típica de este secadero consta de una cámara vertical cilíndrica en la que se introduce por su parte superior la disolución o suspensión que se pretende deshidratar. Las gotas se ponen en contacto con una corriente de aire caliente procedente de un horno adjunto al sistema. Al evaporarse la fase líquida de la disolución, el producto seco cae al fondo de la cámara, donde hay dispuesto un sistema de recogida. Las partículas más finas pueden ser arrastradas por la corriente de aire, por lo que se suele incorporar un sistema de filtrado o separación como un ciclón.



Secadero espray.

### Secaderos rotativos

Son secaderos continuos y con una elevada producción. El principio de funcionamiento es similar al de los hornos rotativos descritos en el apartado que hace referencia a los tipos de hornos. La principal diferencia entre ambos es la tempe-

ratura de operación, que en los secaderos no suele superar los 70 °C. Tienen calefacción directa y con sistema de agitación continua de los sólidos. Se emplea para el secado de productos granulados como sal, azúcar y sales inorgánicas en general.

### 2.3.1.2. Secaderos de calentamiento indirecto

El calor de desecación se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento y la velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes.

### Secaderos por congelación

La congelación al vacío o liofilización se produce en condiciones de temperatura y presión muy determinadas, de forma que el agua en estado sólido se convierte directamente en vapor sin pasar por el estado líquido. La principal ventaja que ofrece este sistema de secado es la posibilidad de extraer directamente el agua del material que se va a desecar sin los inconvenientes asociados a la evaporación, como pueden ser la deformación del producto o la formación de costras superficiales en los productos de granulometría muy fina.

Una de las aplicaciones más extendidas de la sublimación es el secado de papel. Mediante este proceso se evitan los daños causados por el agua en estado líquido, al evitar los efectos de solubilidad, como tintes corridos. El secado por sublimación también previene el encogimiento, aunque es necesario que el proceso se realice bajo presión para evitar las deformaciones.

### Secaderos de tambor

Consisten en un rodillo hueco de superficie perfectamente lisa, por cuyo interior circula vapor que actúa como fluido calefactor. El cilindro gira de modo que su superficie exterior está en contacto permanente con el material que se va a secar. El secado se produce por el calor transferido a través de la superficie caliente del tambor y depende del tiempo de contacto entre el sólido y el cilindro. El tambor arrastra una pequeña capa de sólido seco, que es recogido en algún punto de la rotación del tambor. La costra formada al final del proceso es eliminada por medio de una cuchilla.

La aplicación más extendida de este tipo de secaderos es el de suspensiones y materiales en forma de láminas (papel, tejidos, etc.), ya que esta configuración favorece un secado rápido de productos de poco espesor o con granulometría muy fina. El producto que se va a secar da una vuelta completa al tambor, a lo largo de la que es secado completamente, por lo que la temperatura de contacto del tambor ha de ser lo suficientemente alta como para permitir un secado muy rápido.



### 2.3.2. Propuestas de mejoras de la eficiencia energética en secaderos

Las características de funcionamiento de los distintos tipos de secaderos y su construcción son muy similares a las de los hornos. También existe gran variedad de equipos con aplicaciones muy concretas, por lo que la eficiencia de cada proceso depende en gran medida del rendimiento del propio proceso. Como medidas de eficiencia energética comunes a todos los tipos de secaderos se puede atender a las medidas ya descritas en el caso de los hornos.

## 3. Buenas prácticas en el uso de combustibles y fluidos térmicos

### 3.1. Calderas

#### Conexión de la caldera

Es recomendable conectar las calderas lentamente, y nunca inyectar agua fría a un sistema caliente ya que los cambios bruscos de temperatura pueden dañar la caldera.

#### Sistema de combustible

Asegurar que el sistema de combustible funciona correctamente y sin fugas. Purgar las calderas antes de encender el quemador, para prevenir explosiones.

#### Verificación de la relación de aire / combustible

Verificar por parte del técnico de mantenimiento la relación de aire/combustible, manteniendo los quemadores bien ajustados y limpios. Con esta medida se consigue una combustión más eficiente y un menor consumo de combustible.

#### Operación de la caldera

Hacer operar a la caldera en condiciones normales o máximas según la carga demandada por el proceso. Con esta medida evitamos que la caldera opere en exceso y consuma energía de forma innecesaria.

#### Sistema de alimentación de agua

Cuidar extremadamente el sistema de alimentación de agua de la caldera, encargado de bombear la alimentada en el sistema de vapor hasta la caldera. Si renovamos el aceite de los elementos de la bomba de agua, mantendremos su buen funcionamiento.

#### Aislamiento

Revisar la temperatura superficial de las paredes de la caldera y verificar el estado de su aislamiento. Una temperatura superficial superior a los 35 °C es inadecuada por motivos de seguridad (quemaduras) y por las elevadas pérdidas energéticas que supone.



Caldera con aislamiento deteriorado.

#### Controladores de velocidad

Utilizar dispositivos controladores de velocidad en los motores de las bombas de agua de alimentación. Esto permite variar la frecuencia de la alimentación al motor y por lo tanto modificar su velocidad para adaptarla al caudal de agua adecuado a la demanda del proceso al que abastece.

### 3.2. Hornos

#### Características

El personal encargado de los hornos ha de conocer su funcionamiento y características, así como los tiempos óptimos de calentamiento y cocción, para evitar que los hornos funcionen durante más tiempo del necesario y en condiciones no óptimas, y de esta manera consumen menos energía.

#### Apagado de hornos

Apague el horno si entre dos hornadas consecutivas transcurre más de media hora. Si el horno está bien aislado se mantendrá gran parte del calor de la última hornada, y necesitará solo unos minutos para alcanzar la temperatura de cocción, por lo que ahorrará energía.

#### Optimización del uso de los hornos

Programe la producción de modo que los hornos funcionen siempre a plena carga y con tiempos mínimos entre hornadas. No superar nunca más del 10% de su capacidad nominal. Tenga en cuenta que el rendimiento energético del horno es máximo cuando trabaja a su capacidad nominal.

#### Revisión y mantenimiento

Un mantenimiento preventivo de ellos permite un mejor funcionamiento. Las tareas más usuales son:

- Limpie periódicamente el interior del horno.
- Verifique el funcionamiento correcto del control de temperatura.

- Limpie y lubrique periódicamente las partes móviles.
- Mantenga limpias las superficies de intercambio de calor entre los gases de combustión y el aire interior del horno.
- Revise el horno al menos una vez al año. Esta revisión puede ser realizada por personal propio de la empresa, aunque es aconsejable que lo haga el servicio posventa del suministrador.

La revisión, limpieza y lubricación periódica mejora la transferencia de calor y el rendimiento energético del horno, además de detectar posibles anomalías que limiten la vida útil del aparato.

### Regulación de quemadores

Programe un mantenimiento y regulación periódicos de los quemadores, así como el control de diversos parámetros como concentración de CO, CO<sub>2</sub>, temperatura de gases de escape, etc. Tenga en cuenta que el quemador es un elemento clave en el consumo energético y en la seguridad del horno. Su limpieza y ajuste correctos garantizan un menor consumo de combustible.

### Aislamientos

Revise la temperatura superficial de las paredes del horno y verifique el estado de su aislamiento, ya que si su temperatura supera los 45 °C, el horno está mal aislado o su aislamiento está deteriorado.

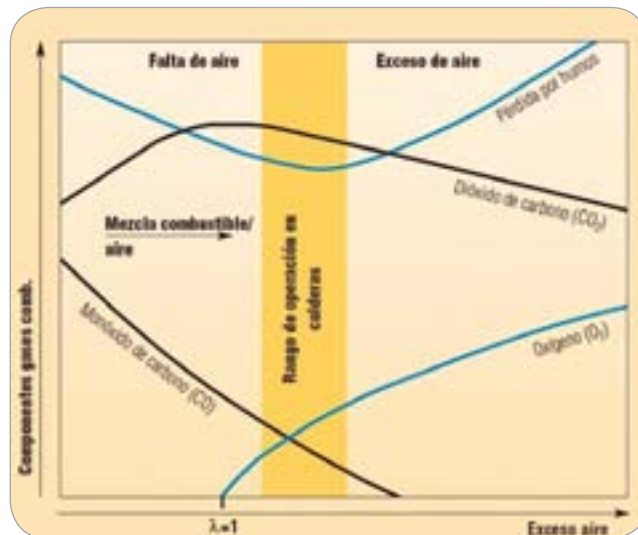
En el caso de hornos con gran superficie acristalada (horno de pisos) es recomendable que sean de doble cristal ya que este permite un importante ahorro de energía.

Se recomienda cambiar las juntas de estanqueidad de los hornos cada cinco años ya que unas buenas juntas minimizan las pérdidas de calor, por lo que han de mantenerse en buen estado.

## 3.3. Combustión

Según las diversas normativas legales existentes, es obligatorio realizar análisis de la combustión en los generadores de calor (calderas, hornos, etc.). Estos análisis son fundamentales a la hora de conocer el estado y el funcionamiento de los equipos con objeto de encontrar acciones que permitan optimizar los sistemas de combustión y, por tanto, obtener ahorros, tanto energéticos como económicos. Los análisis de los gases de combustión permiten calcular el rendimiento energético de la combustión. Los parámetros que se tienen en cuenta suelen ser el exceso de aire ( $\lambda$ ) y el contenido en ciertos gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO).

FIGURA 7  
Parámetros óptimos del aire de combustión (Cortesía Testo).



Con la medición de los parámetros anteriormente mencionados se pueden detectar problemas o ineficiencias que disminuyan el rendimiento de la combustión. Los más comunes son los siguientes:

### Temperatura de humos alta

Puede ser debida a:

- Exceso de tiro que disminuya el tiempo de contacto de los gases con las superficies de intercambio.
- Suciedad en las superficies de intercambio de calor, que dificulten dicho intercambio.
- Deterioro de la cámara de combustión.
- Equipo de combustión desajustado.
- Cámara de combustión mal diseñada.
- Recorrido insuficiente de los humos.
- Exceso de combustión.

### Baja proporción de CO<sub>2</sub>

Puede ser debida a:

- Exceso de aire.
- Acusado defecto de aire.
- Falta de estanqueidad en la cámara de combustión (filtraciones de aire).

- Mal funcionamiento del regulador de tiro.
- Cámara de combustión defectuosa.
- Llama desajustada.
- Quemador que actúa en períodos de tiempo cortos o mal regulado.
- Boquilla de pulverización deteriorada, sucia, o incorrectamente seleccionada.
- Defectos de distribución de aire (defectos en el ventilador y conductos de aire).
- Mala atomización.
- El quemador no es apropiado para el combustible utilizado.
- Presión del combustible incorrecta.

#### Humos opacos

Puede ser debido a:

- Mal diseño o ajuste incorrecto de la cámara de combustión.
- Llama que incide en superficies frías.
- Mal funcionamiento del quemador.
- Tiro insuficiente.
- Mezcla no homogénea de combustible y aire.  
Mal suministro de combustible.
- Boquilla defectuosa o inadecuada.
- Filtraciones de aire.
- Relación aire/combustible inadecuada.
- Hogar defectuoso.
- Regulador de tiro mal ajustado.

#### Limpeza periódica de las superficies de intercambio y ajuste del quemador

Con la limpieza se evita la acumulación de depósitos de hollín en las superficies de intercambio de la caldera, que dificultan el intercambio calorífico ya que actúan como aislante y disminuyen la superficie de intercambio reduciendo el rendimiento energético y propiciando un aumento de la temperatura de los humos.

La correcta regulación del quemador y sus limpiezas periódicas y de las superficies de intercambio optimizan los rendimientos energéticos, lo cual puede suponer ahorros de combustible entre el 1% y el 4% de media en las instalaciones, si bien pueden darse casos de ahorro muy superiores.

#### Análisis de la calidad del agua

Es conveniente realizar el control de una serie de parámetros que nos indican la calidad del agua de alimentación de las calderas. Los análisis periódicos del agua son fundamentales para un correcto funcionamiento del equipo:

- El control de agua bruta se realiza con el fin de adecuar el proceso de tratamiento del agua a sus características. Cuanta mayor sea la calidad del agua, menores serán los costes de tratamiento.
- Si observamos que los datos obtenidos del análisis de agua de alimentación no corresponden a valores adecuados, puede que sea necesaria la corrección del tratamiento de agua a fin de evitar incrustaciones calcáreas y purga excesivas.
- Si los parámetros medidos del agua del interior de la caldera no son los adecuados, es necesario actuar sobre el tratamiento del agua o bien sobre el sistema de purgas de la caldera. Se deben mantener las condiciones de concentración adecuadas en la caldera para evitar problemas de seguridad y calidad del vapor.

#### Rocío ácido

Es conveniente analizar las corrosiones (rocío ácido) en los recuperadores. Cuando el combustible contiene azufre (gasóleo, fuelóleo), deben tomarse precauciones para reducir la corrosión de los tubos por formación de ácido sulfúrico. En general, el hierro fundido es 20 veces más resistente a la corrosión que el acero al carbono. La temperatura de salida de los gases de combustión no ha de descender por debajo del punto de rocío de los gases producidos. Esta limitación de temperatura establece un límite de la posible recuperación de calor de los gases de combustión, por lo que es conveniente reducir al máximo la utilización de este tipo de combustibles que contienen azufre, en favor del gas natural y los gases licuados del petróleo (GLP).

#### Formación de hollín en los recuperadores

Analizar la formación de hollín en las superficies de intercambio e instalar sopladores para su limpieza en contacto con los gases de los equipos de recuperación.

En la combustión de combustibles sólidos, líquidos y gases no limpios, se producen partículas sólidas no quemadas (hollines) que se depositan en las zonas frías, y producen efectos nocivos: Actúan como aislante reduciendo la eficacia

de los equipos; y forman incrustaciones pegadas en la superficie que, normalmente, se impregnan de ácido sulfúrico (si el combustible contiene azufre), por lo que favorecen la corrosión de las superficies metálicas.

Para realizar las operaciones de limpieza (eliminar incrustaciones de hollín y polvo) se emplea el soplado, que puede realizarse con vapor o con aire comprimido, o mediante lavado con agua y posterior secado.

### 3.4. Recuperación de calor de condensados

En todo proceso térmico en el que se utiliza el vapor como fluido calefactor se forma condensado. Los condensados contienen calor sensible que debe aprovecharse: su recuperación supone una reducción del coste de generar vapor. Además, la presencia de condensados en el circuito de vapor puede disminuir el rendimiento de la instalación, y por ello es necesario evacuarlos. La recuperación de condensados puede suponer un ahorro de combustible del 1% por cada 5 °C o 6 °C de calentamiento en el agua de alimentación a las calderas. A continuación, se incluyen unas tablas a modo de guía práctica.

#### Existencia de fugas

Eliminar todas las fugas de fluidos térmicos en tuberías, válvulas y accesorios ya que es una acción imprescindible para garantizar la seguridad en el funcionamiento del equipo, además de suponer igualmente un ahorro energético.

#### Aislamiento de tuberías

Calorificar las tuberías de fluidos calientes ya que constituye una acción imprescindible para garantizar la seguridad en el trabajo, y supone igualmente un ahorro energético.

#### Pérdidas de calor

Cubrir los depósitos de almacenamiento de agua (de almacenamiento de condensados, de alimentación a calderas, de agua caliente, etc.).

Comprobar la temperatura correcta de mantenimiento en depósitos de proceso por las noches y los fines de semana. Reducir la temperatura de los fluidos de proceso hasta el mínimo posible.

Cubrir los depósitos de agua, comprobar su temperatura y reducir la temperatura del proceso permiten disminuir las transferencias de calor y las pérdidas al ambiente.

#### Circuito de refrigeración

Clasificar las aguas de refrigeración de máquinas o de otros circuitos de refrigeración existentes atendiendo a su temperatura y nivel de contaminación.



**Aislamiento deteriorado.**

El contenido térmico de las aguas de refrigeración, tanto contaminadas como no contaminadas, se puede aprovechar en bombas de calor o, indirectamente, a través de intercambiadores y, en algún caso, directamente como agua de proceso (introduciéndola en las calderas) con o sin sistemas de tratamiento de agua.

#### Modificaciones en refrigeración

Eliminar la refrigeración de fluidos que van a ser calentados y conectar los refrigeradores de agua en serie en aquellos puntos en los que las limitaciones de temperatura lo permitan.

Existen alternativas al proceso de refrigeración instalado que pueden suponer ahorros de energía.

#### Sistema de refrigeración

- Desconectar el agua de refrigeración cuando sea necesaria.
- Desconectar el sistema de refrigeración cuando entre el aire exterior.
- Regular al mínimo posible el caudal de recirculación para refrigeración de bombas y compresores.
- Hacer funcionar las torres de refrigeración a temperatura de salida constante para evitar el subenfriamiento.
- Utilizar un sistema de recirculación en cascada en invierno y para evitar el subenfriamiento.
- Recircular el agua de refrigeración (o productos químicos calientes) en invierno.

Se pueden conseguir ahorros de energía regulando el funcionamiento del sistema de refrigeración a la demanda existente y a las condiciones ambientales.

### 3.5. Redes de distribución

#### Tuberías calorifugadas

Asegurar que las pérdidas de calor de las tuberías sean lo más pequeñas posibles, comprobando que se encuentran calorifugadas y que su aislamiento está en perfecto estado. Con esto podemos reducir las pérdidas a 0,5 kg/m<sup>2</sup>h - 1 kg/m<sup>2</sup>h.

#### Evitar fugas

Evitar pérdidas de energía por fugas de vapor. Todas las fugas de vapor se repararan tan pronto como sea posible para no mantener una fuga de vapor hasta que la instalación pare. Una fuga puede suponer pérdidas de calor, por lo que se encarece el coste energético.

#### Inspección de las líneas de vapor

Realizar al menos una vez por año una inspección de las líneas de vapor, identificando el daño físico, grietas; bandas y cintas de sujeción rotas; juntas rotas o dañadas; y/o cubiertas dañadas. Con esta medida mantenemos un adecuado rendimiento de la caldera.



Falta de mantenimiento de la red de distribución.

### 3.6. Alojamiento de redes de distribución

Un aislamiento de espesor óptimo para disminuir las pérdidas por las paredes reduce éstas al 2% - 3% de las que se producirían sin aislamiento. La instalación de aislamiento de espesor óptimo es una buena práctica energética. Es, con mucho, el mejor método de ahorro de energía, y la amortización se realiza en plazos muy cortos, del orden de semanas.

Cuanto mayor sea el espesor del aislamiento, mayor será su costo, pero disminuirá el valor de las pérdidas. Hay que buscar, por tanto, aquel espesor que haga mínimo el costo total de la instalación, ya que un aumento del coste en el aislamiento por encima del valor óptimo puede no quedar

justificado por la disminución de pérdidas que se puedan conseguir.

#### Aislamiento de redes y equipos térmicos

- Analizar si existen pérdidas de calor y aislar todos los equipos y accesorios (válvulas, bridas, soportes) que transporten fluidos térmicos a temperaturas inferiores a la del ambiente, o más de 40 °C, ya que las pérdidas de calor pueden reducirse al 2% - 3% con el uso de aislamiento.
- Aislar y tapar depósitos abiertos para disminuir las pérdidas de calor a través de la superficie libre de líquidos calientes, cubriéndolas con tapas o, si no es posible, disponiendo bolas flotantes de polipropileno (se reducen las pérdidas hasta en un 80%).
- Evaluar las pérdidas en las tuberías de calentamiento por vapor de fluidos viscosos o de alto punto de congelación y estudiar la viabilidad de su sustitución por otros sistemas, ya que el calentamiento de tuberías por vapor puede ser sustituido por calentamiento eléctrico o, incluso en algún caso, puede llegar a ser innecesario si se emplea un aislamiento adecuado, por lo que se reducen en cualquier caso las pérdidas y los costes.
- Aislar todas las superficies de intercambio de depósitos y calderas, y es necesario aislar también el fondo y la cubierta de los depósitos y calderas.
- Evaluar el aislamiento del edificio, ya que a través de la cubierta, cerramientos y soleras de edificios se producen intercambios de calor que deben ser compensados por el sistema de calefacción y aire acondicionado.

#### Mantenimiento adecuado

Utilizar sistemas termográficos para detectar fugas de calor ya que constituyen una herramienta muy eficaz y sencilla para detectar fugas.

Estudiar sistemas para disminuir las pérdidas de calor por radiación a través de ranuras y evitar la apertura de puertas de hogares o zonas calientes ya que se pierde calor por radiación y por pérdida de aire caliente.

Comprobar el estado de cierres de puertas de calderas, hornos y secaderos, así como:

- Estado de los aislamientos y del material aislante.
- Estado de las barreras de vapor.
- Temperaturas exteriores.





05 | Eficiencia y Ahorro Energético  
en el Sector Servicios

## 1. Aspectos básicos de la climatización en el sector servicios

El hecho de disponer de energía asequible y abundante nos permite contar con un nivel de movilidad, productividad y confort muy elevado. El papel de la energía es vital para nuestro desarrollo sostenible, esto es, que la energía se produzca y emplee teniendo en cuenta el desarrollo humano en sus dimensiones social, económica y medioambiental. De no ser así, el deterioro del medio ambiente se verá acelerado, se incrementará la desigualdad y peligrará el crecimiento económico mundial.

El sector de la vivienda y de los servicios, compuesto en su mayoría por edificios, absorbe más del 40% del consumo final de energía en la Comunidad Europea y se encuentra en fase de expansión, tendencia que previsiblemente hará aumentar el consumo de energía y, por lo tanto, también las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Con el fin de garantizar la protección del medio ambiente, la Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación (LOE), establece como uno de los requisitos básicos de la edificación, que los edificios se proyecten de tal forma que no se deteriore el medio ambiente, así como el uso de un modo racional de la energía necesaria para el funcionamiento normal de dichos edificios, mediante el ahorro de ésta y el aislamiento térmico.

Los edificios tienen una gran incidencia en el consumo de energía a largo plazo, por lo que todos los edificios nuevos deberían cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética adaptados a las condiciones climáticas locales. A este respecto, se deben orientar las buenas prácticas para un uso óptimo de los elementos relativos a la mejora de la eficiencia energética.

Por otro lado, el cambio en el marco normativo producido por la aprobación de la Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificación, 2002/91/CE y su traslado a la legislación española, está haciendo aparecer nuevos requerimientos en el sector de la edificación en aquellos aspectos relativos al consumo de energía, iluminación, aislamiento, calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, certificación energética de edificios o utilización de la energía solar.

Actualmente son varios los documentos legales puestos en marcha por la Administración para dar respuesta a estos nuevos requerimientos:

- Aprobación del Código Técnico de Edificación (CTE). Nuevo Código Técnico de Edificación aprobado según el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

- Modificación del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) aprobada en el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- Actualización de la Normativa de Aislamiento Térmico (NAT) NBE-CT-79.
- Certificación Energética de Edificios (CCEE) de nueva construcción (Real Decreto 47/2007, de 19 de enero).
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) en España (2008-2012).

Quizás, el más relevante de todos, por su novedad, sea la Certificación Energética de Edificios. La expresión del consumo de energía necesario para satisfacer la demanda energética de un edificio en condiciones normales de funcionamiento y ocupación es lo que se denomina calificación energética.

El proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación energética obtenida por el proyecto y por el edificio, una vez terminado con la consecuente expedición de certificados de eficiencia energética en ambos, es el certificado energético de un edificio.

Este certificado de eficiencia servirá para acreditar que en su diseño y construcción se han tenido en cuenta criterios orientados a lograr en ellos el máximo aprovechamiento de la energía.

La certificación valora, además, la eficiencia térmica de los edificios en dos aspectos: calefacción y producción de agua caliente. Para ello se tienen en cuenta, entre otros, aspectos como el grado de aislamiento del edificio o las instalaciones de producción de energía.

En resumen, lo que permite la certificación energética de los edificios es:

- Dar a conocer al usuario las características energéticas de su edificio.
- Facturar todos los gastos de energía derivados de las diferentes aplicaciones (calefacción, climatización y ACS) en función del consumo real, para así poder distribuir los costes de manera más equilibrada e individualizada.
- La inspección periódica de las calderas.
- Realizar auditorías energéticas en los edificios de alto consumo de energía.
- Controlar el aislamiento térmico en los edificios de nueva construcción.



- Mejorar la eficiencia energética.
- Rentabilizar los costes.
- Estudiar la viabilidad técnica de los proyectos.
- Mejorar el medioambiente.

## 1.1. Climatización en el sector servicios

El acondicionamiento de aire o climatización tiene como función principal la generación y el mantenimiento de un adecuado nivel de confort para los ocupantes de un ambiente cerrado, o bien la garantía del mantenimiento de un conjunto de condiciones ambientales para el desarrollo de un proceso o actividad ambiental dentro de un recinto.

Acondicionar el aire implica controlar una serie de variables físicas en el interior del local, como son la temperatura seca y la humedad y calidad del aire, factores básicos en el control del confort térmico. En este sentido es importante hacer notar que, cuando calentamos o refrigeramos un local, no estamos controlando necesariamente factores como la humedad, sino que aportamos calor o frío, es decir, estamos actuando sobre su temperatura seca sin tener un control real sobre las variaciones originadas en la humedad del ambiente.

Hoy en día no hay que olvidar que los tres ejes principales que rigen la evolución de la climatización son: la calidad del aire interior (I.A.Q.), el consumo energético y el impacto medioambiental.

### 1.1.1. Sistemas de climatización aplicables

En función del fluido encargado de compensar la carga térmica en el recinto a climatizar podemos diferenciar los siguientes sistemas de climatización que se pueden encontrar en instalaciones terciarias:

- **Sistemas todo aire:** El aire es utilizado para compensar las cargas térmicas en el recinto que se va a climatizar, y se controle además la humedad ambiente y la limpieza del aire (renovaciones hora), sin existir ningún tratamiento posterior.

Las unidades centralizadas son climatizadores que se encargan de enfriar o calentar, deshumidificar o humidificar, y limpiar el aire. Estas unidades climatizadoras pueden ser del tipo expansión directa, como parte de una unidad autónoma compacta o partida, o bien un climatizador de agua (UTA), en cuyo caso precisará de unidades enfriadoras de agua o calderas.

Las unidades terminales que utilizan este sistema son unidades de difusión (difusores y rejillas de todo tipo), o unidades de control de la cantidad de aire que se va a suministrar a cada local (cajas de compuertas o elementos de similar función).

- **Sistema todo agua:** Son aquellos sistemas de climatización en los que el agua es el agente que se ocupa de compensar las cargas térmicas del recinto acondicionado (aunque también puede tener aire exterior para la renovación). Entre este tipo de sistemas encontramos las instalaciones de calefacción con radiadores o por suelo radiante.
- **Sistema aire-agua:** Se trata de sistemas a los que llega tanto agua como aire para compensar las cargas del local. Un ejemplo de este tipo de instalaciones son las fan-coils. En estos equipos, el aire (normalmente procedente de la misma habitación que se va a climatizar) se hace pasar a través de una batería de frío o de calor.
- **Sistemas todo refrigerante o de expansión directa:** Se trata de instalaciones de climatización en las que el fluido que se encarga de compensar las cargas térmicas del local es el refrigerante. Dentro de estos sistemas podemos englobar los pequeños equipos autónomos (split y multisplit). Su regulación puede ser todo o nada, o los sistemas de refrigerante variable mediante inverter.

Los sistemas split son muy utilizados en el ámbito doméstico o de servicios y tienen múltiples configuraciones. Constan de una unidad normalmente exterior en la que se sitúan el condensador y el compresor, y otra unidad situada en el interior del local a climatizar (el evaporador).

Los sistemas multisplits (VRV o CRV) están compuestos por una unidad condensadora que distribuye a varios evaporadores (alguno de éstos puede preparar el aire primario de evaporación).

### 1.1.2. Mejora y optimización de la eficiencia energética de los equipos

La reducción del consumo energético de un edificio en aspectos de climatización se puede lograr mediante diferentes vías de actuación. Las principales vías son las siguientes:

1. Disminuir la demanda de energía en los edificios.
2. Sustituir las fuentes de energía convencionales por energías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica, biomasa o geotérmica).

3. Utilizar sistemas y equipos térmicos más eficientes.
4. La recuperación de energía residual y el enfriamiento gratuito (free cooling).

Para ahorrar energía y optimizar el funcionamiento de nuestras instalaciones habrá que adecuar, por tanto, la producción que tengamos a la demanda (mediante una buena regulación y fraccionamiento de la potencia), así como ajustar los tiempos de funcionamiento de nuestros sistemas de climatización a las necesidades reales.

Por otro lado, la utilización de equipos más eficientes como quemadores modulantes en calderas, bombas de frecuencia variable o calderas de condensación, contribuyen en gran medida a aumentar la eficiencia de nuestra instalación, aunque suelen ser soluciones con un coste económico elevado.

Además, la utilización de sistemas free-cooling en las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs) permite hacer funcionar menos tiempo los equipos de refrigeración, con la consecuente disminución del gasto energético. Las UTAs con sistemas integrados de free-cooling cuentan con tres puertas de aire colocadas de tal forma que cuando la temperatura o entalpía del aire exterior (dependiendo de si el sistema free-cooling es por temperatura o por entalpía) es menor que la temperatura o entalpía del aire interior del local, se toma este aire frío exterior para refrigerar directamente el local.

Otros equipos que favorecen el ahorro energético en la climatización son los recuperadores de energía. Éstos son dispositivos que permiten reutilizar el calor residual de un sistema y su objetivo final es alcanzar la eficiencia máxima de la instalación. De esta forma, si se recupera parte de la energía del aire que vamos a expulsar al exterior y la empleamos para el precalentamiento del aire exterior que lo sustituye, estaremos cumpliendo dichos objetivos.

Cabe destacar además la actual legislación existente en asuntos de climatización, que obliga a emplear estos sistemas más eficientes en instalaciones que superen una potencia mínima.

## 1.2. Calidad del aire interior

Según la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, la conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición, en algunos casos, de molestias y síntomas que responden a la definición de una enfermedad es un hecho que ya no puede cuestionarse. La principal responsable es la contaminación de diversos tipos presente en los edificios, que suele denominarse “mala calidad del aire en interiores”.

Además, es un problema que se ha visto agravado por la construcción de edificios diseñados para ser más herméticos y que reciclan parte del aire con una proporción menor de aire fresco procedente del exterior, con el fin de aumentar su rentabilidad energética. Es de aceptación general el hecho de que los edificios que carecen de ventilación natural presentan riesgo de exposición a los contaminantes.

En general, el término aire interior suele aplicarse a ambientes de interior no industriales, como pueden ser edificios de oficinas, edificios públicos y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estos edificios suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente en el aire exterior, y mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial, en el que se aplican normas relativamente bien conocidas con el fin de evaluar la calidad del aire.

Aun así, muchos ocupantes de edificios se quejan de la calidad del aire que respiran, por lo que cada vez es más importante llevar a cabo estudios de estos niveles con el fin de dar solución a los orígenes de esta contaminación del aire. No obstante, aunque está clara la importancia de estos estudios, y la importancia del bienestar y la salud de las personas que trabajan o habitan en los edificios, la calidad del aire interior comenzó a considerarse un problema a finales de los años 60, y se realizaron los primeros estudios unos diez años después.

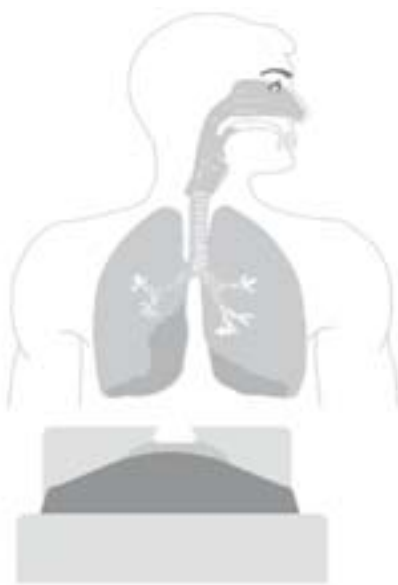
Los cambios en el estado de salud de una persona, debidos a la mala calidad del aire interior, pueden manifestarse con diversos síntomas agudos y crónicos, así como en forma de diversas enfermedades específicas. Estos síntomas y enfermedades se ilustran en la figura 1.

Aunque los casos en que la mala calidad del aire interior se traduce en enfermedades son pocos, sí que es común que sea responsable de malestar, estrés, absentismo laboral y pérdida de productividad.

Otro aspecto, que debe considerarse como parte de la calidad del aire interior, es su olor, ya que éste suele ser el parámetro definitorio. La combinación de un cierto olor con el leve efecto irritante de un compuesto en el aire de un interior puede conducirnos a definir su calidad como “fresca” y “limpia” o como “viciada” y “contaminada”.

Por todo ello, el olor es muy importante al definir la calidad del aire interior. Aunque los olores dependen objetivamente de la presencia de compuestos en cantidades superiores a sus umbrales olfativos, a menudo se evalúan desde un punto de vista estrictamente subjetivo. Debe tenerse en cuenta que la percepción de un olor puede deberse a los de sus numerosos compuestos diferentes y que la temperatura y la humedad también pueden modificar sus características.

FIGURA 1  
Síntomas y enfermedades relacionadas con la calidad del aire interior.



**SÍNTOMAS:**

- **Ojos:** Sequedad, picor/escozor, lagrimeo, enrojecimiento.
- **Vías respiratorias altas (nariz y garganta):** Sequedad, picor/escozor, congestión nasal, goteo nasal, estornudos, epistaxis, dolor de garganta.
- **Pulmones:** Opresión torácica, sensación de ahogo, sibilancias, tos seca, bronquitis.
- **Piel:** Enrojecimiento, sequedad, picor generalizado y localizado.
- **General:** Cefalea, debilidad, somnolencia/letargo, dificultad para concentrarse, irritabilidad, ansiedad, náuseas, mareo.

**ENFERMEDADES MÁS FRECUENTES:**

- **Hipersensibilidad:** Neumonitis por hipersensibilidad, fiebre por humidificadores, asma, rinitis, dermatitis.
- **Infecciones:** Legionelosis (enfermedad del legionario), fiebre de Pontiac, tuberculosis, resfriado común, gripe. De origen químico o físico desconocido, incluido el cáncer.

Fuente: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

Debido a la complejidad de medir los olores desde el punto de vista químico en el aire interior, la tendencia es eliminar los malos olores y utilizar, en su lugar, los considerados buenos con el fin de dar al aire una calidad agradable. Una práctica habitual para alcanzar este objetivo es el enmascaramiento de los malos olores con otros agradables. Sin embargo, esta práctica suele fracasar en la mayor parte de las veces, puesto que pueden reconocerse por separado olores de muy diferentes calidades, a la vez que el resultado es imprevisible.

### 1.2.1. Aspectos del sistema de ventilación relacionados con la calidad del aire interior

La calidad del aire interior en un edificio depende de una serie de variables, como la calidad del aire del exterior, el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del aire (es decir, el sistema de calefacción y de refrigeración), las condiciones en que opera y se mantiene (tanto el edificio como los sistemas que posee), la división en compartimentos del edificio y las fuentes interiores de contaminantes y su magnitud.

En general, se puede decir que los problemas más frecuentes de la calidad del aire interior se deben a una ventilación inadecuada, a la contaminación generada en el interior del propio edificio y a la contaminación procedente del exterior. Con respecto al primero de estos causantes, la

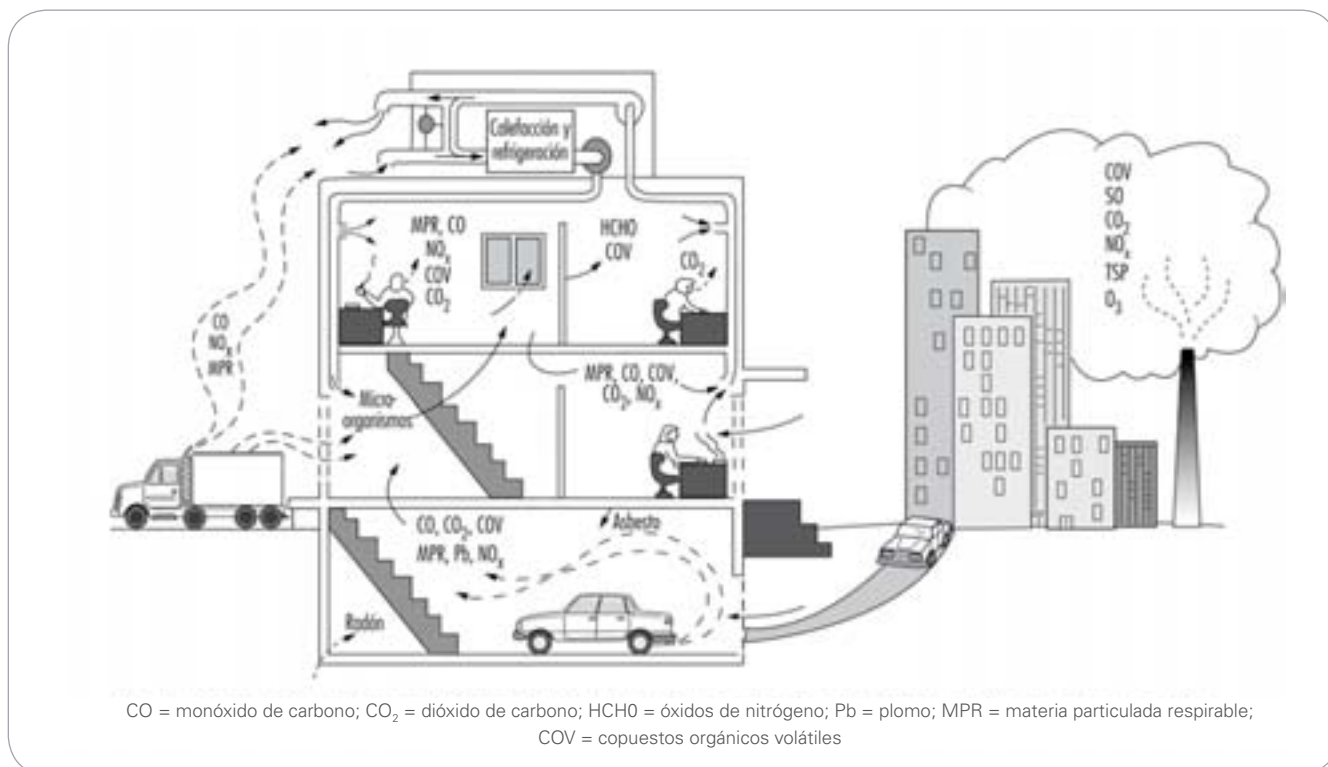
ventilación inadecuada se debe principalmente a una entrada insuficiente de aire fresco (ya sea por un alto nivel de recirculación del aire o un nivel bajo de entrada de aire fresco), a la orientación incorrecta del edificio (que no favorece la ventilación natural del edificio) y a una distribución interior deficiente.

### 1.2.2. Origen de los contaminantes

La contaminación en el interior de los edificios tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos normales (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios); y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunden hacia áreas vecinas, y las afecta.

Hay que tener en cuenta que las sustancias emitidas en el aire interior tienen muchas menos oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible. En lo que respecta a la contaminación biológica, su origen se debe fundamentalmente a la presencia de agua estancada, de materiales impregnados con agua, gases, etc., y a un mantenimiento incorrecto de los humidificadores y las torres de refrigeración.

FIGURA 2  
Fuentes de contaminación de un edificio.



Fuente: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

Por último, debe considerarse también la contaminación procedente del exterior. Con respecto a la actividad humana, hay tres fuentes principales: la combustión en fuentes estacionarias (centrales energéticas), la combustión en fuentes móviles (vehículos) y los procesos industriales.

## 2. Tecnologías eficientes aplicables en el sector servicios: microgeneración y microtrigeneración

### 2.1. Generalidades

El uso intensivo de energía en todas sus formas, y su producción principal a partir de combustibles fósiles, están originando un aumento sustancial en las emisiones de contaminantes a la atmósfera que derivan en efectos globales cuyas consecuencias están empezando a afectar al planeta (disminución de la capa de ozono, calentamiento global, etc.).

Tal y como dice el Estudio de Difusión sobre Tecnologías de Microtrigeneración para el Sector Industrial y Terciario (publi-

cado por los Centros de Difusión Tecnológica AEDIE y La Viña), el servicio de climatización<sup>1</sup> es un consumidor de energía de primer orden en países de latitudes medias como España. Tradicionalmente, la mayor parte de este consumo se debía a los sistemas de calefacción para la temporada fría, que comprende entre cuatro y seis meses al año. Esta demanda, al requerir directamente calor, obtiene la energía necesaria fundamentalmente de la combustión de combustibles fósiles: carbón, gasóleos y gas natural.

No obstante, en las últimas décadas, el despegue económico y el consiguiente aumento del nivel de vida de los consumidores, han hecho significativa la demanda de refrigeración (aire acondicionado) en la temporada cálida (que puede durar entre tres y cuatro meses). El aire acondicionado se ha generalizado en los grandes edificios públicos y centros de trabajo y va camino de convertirse en un servicio común en los hogares. La práctica totalidad de los sistemas de refrigeración, que se utilizan tanto en España como en la Unión Europea (UE), emplean ciclos de compresión mecánica de vapor alimentados con motores eléctricos conectados a la red.

Además, la climatización causa un considerable impacto ambiental, fundamentalmente el asociado con la emisión de

gases de efecto invernadero consecuencia del consumo de combustibles fósiles, pero también el relacionado con las sustancias empleadas como refrigerantes. A muy corto plazo el fuerte crecimiento de esta actividad planteará un importante desafío a los compromisos adquiridos por muchos países en el Protocolo de Kioto.

Otro factor que hay que considerar cuando se evalúan las consecuencias de la climatización son los efectos sobre los sistemas de producción y distribución de la electricidad. A pesar de la alta eficiencia de los equipos de compresión mecánica para refrigeración, la potencia total requerida y su concentración en ciertas franjas horarias plantea ya importantes problemas de capacidad y regulación en el sistema eléctrico de muchos países. Esto repercute en la estabilidad del suministro y hace necesarias fuertes inversiones que acaban afectando al precio de la electricidad, especialmente en las horas punta.

La conclusión sería que, aunque se climatiza con soluciones técnicamente muy satisfactorias y más que probadas, parece el momento de ir más allá y dar nuevos pasos en eficiencia energética y respeto al medio ambiente, aprovechando las oportunidades que se plantean. Los alicientes son, de forma muy resumida, los siguientes:

- Ahorro económico y mejora de la balanza de pagos.
- Aumento de la suficiencia energética / reducción de la dependencia.
- Cumplimiento de los compromisos ambientales ya adquiridos y futuros.
- Racionalización del sistema energético y evolución hacia un modelo más sostenible.

Tanto en el ámbito mundial, como en el europeo y estatal, parece haber consenso en que los caminos más claros para lograr estos objetivos pasan por una mayor participación de las energías renovables, tanto para suministrar calor como electricidad, y por la introducción masiva de técnicas de refrigeración alimentadas por calor en lugar de por energía eléctrica. En esta segunda vía serán especialmente interesantes los sistemas capaces de emplear fuentes de calor de baja temperatura (menos de 100 °C), es decir capaces de aprovechar económicamente la energía solar térmica o calores residuales recuperados, de origen industrial o producidos en instalaciones de cogeneración.

En este contexto cabe finalmente resaltar que el segmento de mercado donde los avances son más lentos es el de las pequeñas potencias; es decir, aquel que cubre la demanda de los hogares, pequeños establecimientos comerciales y locales públicos. Este segmento de mercado va, sin embargo,

camino de convertirse en el más importante en cuanto a consumo de energía y es en el que los incentivos para romper las barreras que impiden el desarrollo de soluciones más eficientes son más grandes.

Por ello, se va a tratar de forma especial dos de las tecnologías más interesantes y eficientes para estos niveles de potencia (menos de 1 MW), la microcogeneración y la microtrigeneración.

## 2.2. Introducción a la microcogeneración y microtrigeneración

La cogeneración se define como la producción simultánea de electricidad y calor útil a partir de un único combustible. Los sistemas de cogeneración engloban diversas tecnologías (motores alternativos de combustión interna, turbinas, motores de combustión externa, etc.) y distintos combustibles (gas natural, propano, biomasa, etc.). Según la potencia de los equipos, se habla de cogeneración o microcogeneración (menos de 1 MW); ésta última está orientada principalmente a hoteles, hostales, grandes restaurantes, hospitales, residencias, locales comerciales, edificios residenciales, etc. (ver figura 3).

La finalidad de una instalación de este tipo es la de aprovechar el calor residual (en torno al 60% de la energía liberada) de una máquina térmica para satisfacer los servicios de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y calefacción, a la vez que se produce energía eléctrica. Si a este sistema se le incorpora una máquina de absorción, de forma que se aproveche el mismo calor residual para producir frío, el sistema se convierte en una instalación de trigeneración, o en su nivel de potencia más pequeño, microtrigeneración (ver figura 4).

La microcogeneración, y por extensión la micro-trigeneración, es por tanto una tecnología perfectamente desarrollada y extendida para mejorar la eficiencia y el ahorro energéticos, además de reducir las emisiones contaminantes y fomentar la generación distribuida de energía.

Si se compara un suministro de energía mediante cogeneración con un suministro convencional de energía, se obtienen ahorros de consumo en términos de energía primaria que oscilan entre el 30% y el 40%. Estos ahorros de consumo además implican unos ahorros equivalentes en términos de emisiones contaminantes (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, etc.).

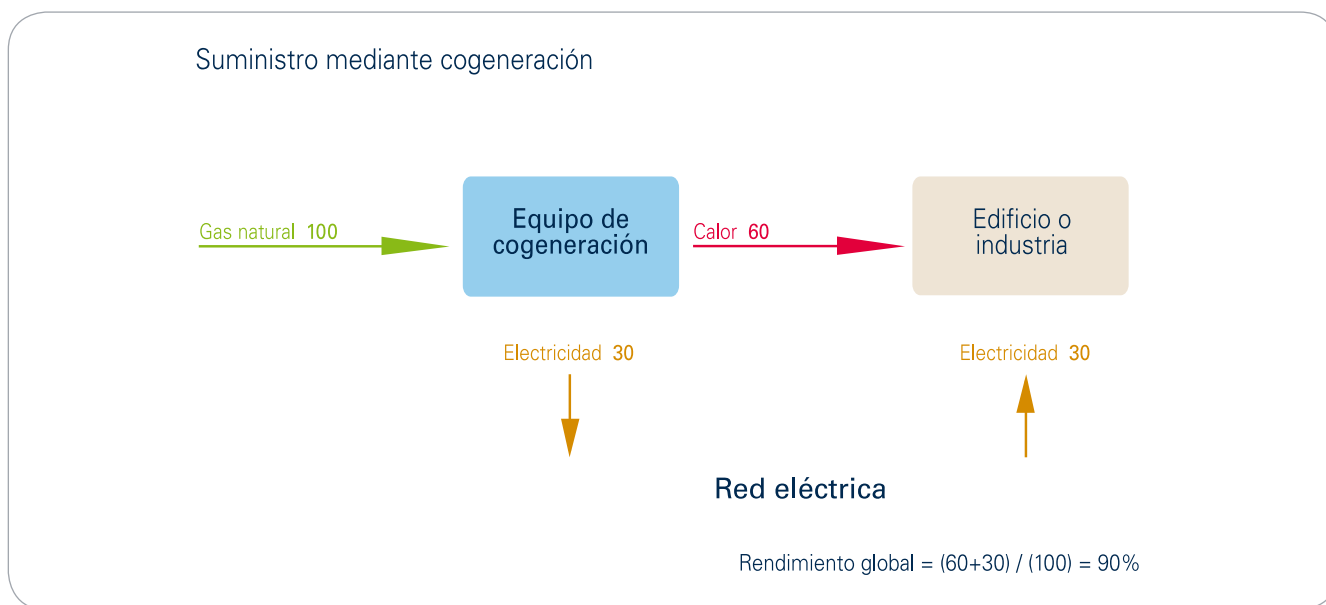
De igual modo, se obtiene un importante beneficio económico al producir una energía más barata que la que se compra, e incluso al poder vender los excedentes de electricidad a la red, a la vez que se garantiza el suministro energético en caso de una avería.

Por tanto, se puede afirmar que a corto y medio plazo, las instalaciones de cogeneración y trigeneración (o en sus variantes de baja potencia) son las tecnologías más adecuadas para convertir el actual sistema energético en un sistema sostenible y mucho más racional. Y además ayudan a

cumpliendo con los compromisos adquiridos con la firma del Protocolo de Kioto por nuestro país.

Actualmente las instalaciones de generación combinada de energía utilizan diversas tecnologías, cada una con sus

**FIGURA 3**  
Aprovechamiento del calor en un sistema de microcogeneración.



**FIGURA 4**  
Funcionamiento de un sistema de microtrigeneración.

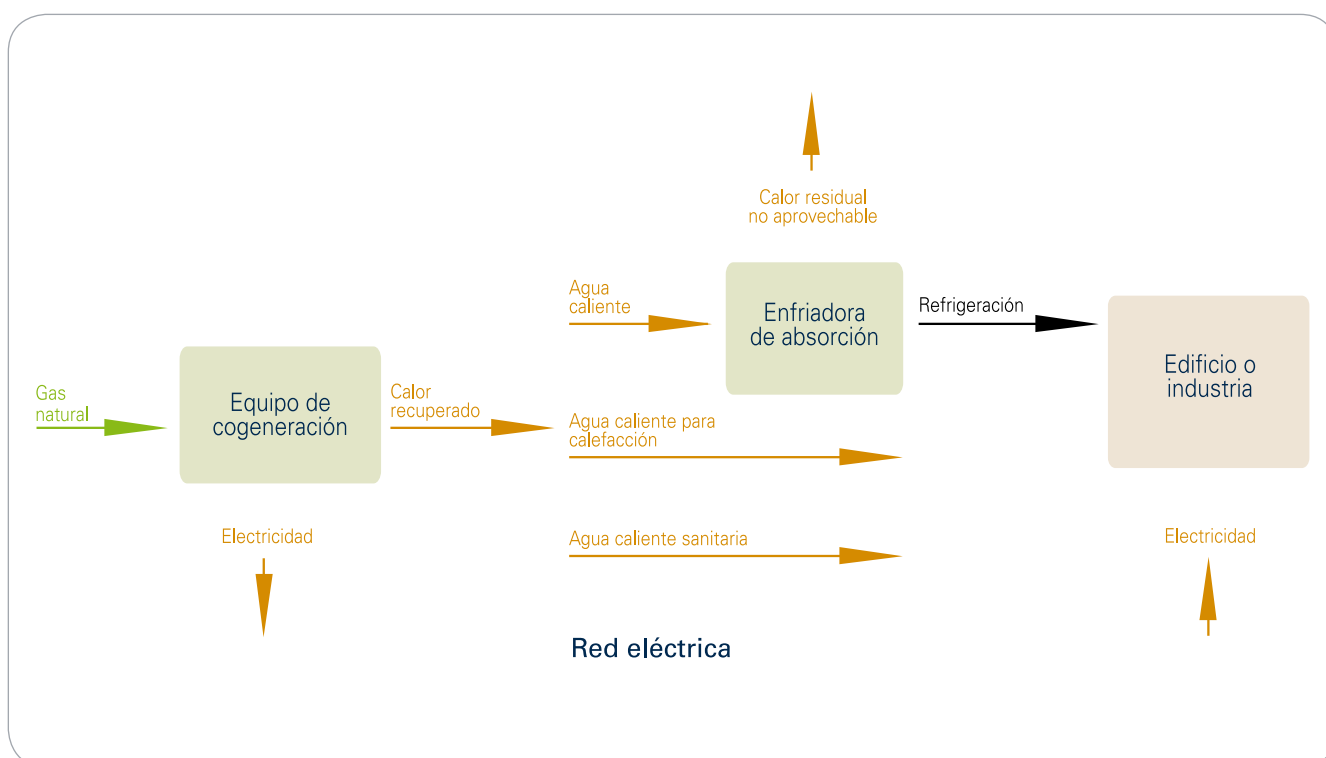


TABLA 1  
Tipos de máquinas térmicas y características.

Tipo de máquina térmica	Turbina de gas	Turbina de vapor	Motor de combustión interna	Motor Stirling	Pila de combustible
Potencia (kWe)	>20	>20	>1	>1	>1
Rendimiento eléctrico	15% - 35%	10% - 40%	25% - 45%	25% - 50%	35% - 55%
Rendimiento térmico	40% - 59%	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%	40% - 60%
Rendimiento total	60% - 85%	60% - 85%	70% - 85%	70% - 90%	70% - 90%
Carga mínima (%)	75%	20%	50%	50%	Sin límite
Disponibilidad	90% - 98%	99%	92% - 97%	92% - 97%	>95%
Coste de instalación (€/kWe)	600 - 800	700 - 900	700 - 1400	>2000	>2500
Temperatura aprovechable	450 °C - 800 °C	100 °C*	300 °C - 600 °C	300 °C - 600 °C	250 °C - 550 °C
Combustible	GN, GLP (de alta calidad)	Todos	Gas, diesel, biocombustibles	Todos	H <sub>2</sub>

Fuente: AEIDE / La Viña.

ventajas e inconvenientes. En la tabla 1 se observan las diferencias entre las distintas opciones.

La elección entre una u otra tecnología está condicionada por el tipo de demanda energética de la aplicación. Por ejemplo, si el consumo es principalmente eléctrico, los motores de combustión interna y Stirling ofrecen mejores prestaciones (rendimiento superior), mientras que las turbinas de gas presentan muy buenas propiedades cuando la principal de las demandas es la térmica.

Por último, además de las ventajas ya comentadas, tanto las instalaciones de cogeneración como las de trigeneración, independientemente de su potencia, se pueden combinar con sistemas de energía renovable, bien mediante el empleo de biocombustibles o mediante su combinación con energía solar y/o eólica, lo que les da un valor añadido muy importante.



Fuente: Senertec.

Elementos internos de un equipo cogenerador tipo motor de combustión interna.



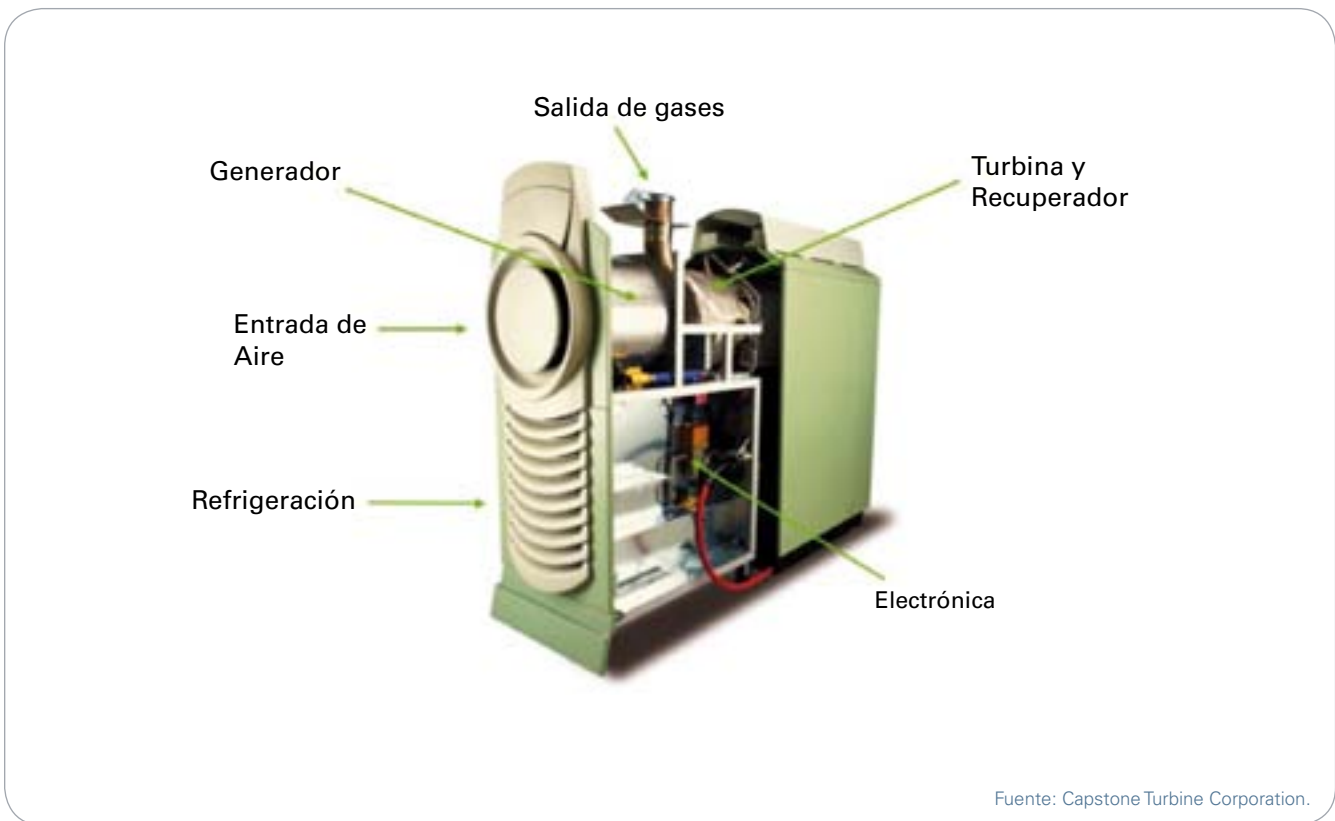
### 2.3. Climatización por absorción

El principio de funcionamiento de una instalación de trigeneración es similar al de una instalación de cogeneración, con la salvedad de que el aporte térmico generado es utilizado para producir frío, utilizando para ello una máquina de absorción. Este frío se emplea generalmente para satisfacer la demanda de refrigeración existente en un edificio, local comercial, restaurante, hotel, vivienda, etc.

Al igual que en el ciclo con compresión eléctrico, la absorción se basa en la circulación cíclica de un fluido llamado refrigerante en unas determinadas condiciones de presión y temperatura, de forma que se aprovecha el calor latente de vaporización de dicho fluido para bombear calor del foco frío (zona que se va a refrigerar) al caliente (torre de refrigeración) a través de un evaporador y un condensador. Para que este fenómeno se produzca, en ambos casos (compresión y absorción) debemos aportar una energía externa para poder variar cíclicamente las condiciones del fluido.

Mientras que en el ciclo clásico esta energía externa es de origen mecánico (electricidad), mediante un compresor, en la absorción la energía que se aporta al sistema es de origen térmico y generalmente de baja temperatura.

#### Máquinas de absorción.



#### Partes de una microturbina de gas.



Así, un equipo de absorción está compuesto por un evaporador, un condensador, un absorbedor y un generador, y son estos dos últimos elementos los que harían las veces de compresor.

Existen muchas variantes y evoluciones de las máquinas de absorción, principalmente en cuanto a su funcionamiento, que puede ser de una etapa o de simple efecto o de varias. La finalidad de estas evoluciones es la de conseguir una mayor eficiencia o para superar al ciclo de simple efecto en alguna característica determinada.

Las más destacadas son los ciclos de múltiple efecto, en los que se realizan varias separaciones de vapor a partir de un aporte inicial de calor externo, de forma que el Coeficiente de Eficiencia Energética (CEE) aumenta sustancialmente. En la fotografía anterior se presenta una máquina de absorción de doble efecto con los generadores alimentados en paralelo: el vapor de refrigerante separado en el generador de alta condensación alimentando el generador de baja, separando por tanto una nueva cantidad de refrigerante de la disolución sin consumo adicional de calor externo. En las sucesivas generaciones de vapor de los ciclos de múltiple efecto se separa siempre menos vapor del que se condensa, con lo cual se tiene que  $CEE_{DE} < 2 \cdot CEE_{SE}$  y que cada nuevo efecto en cascada aporta menos a la eficiencia que el anterior. La relación  $CEE_{c+a} = CEE_c + 1$  sigue siendo válida en ciclos de múltiple efecto.

Los equipos de absorción funcionan con una solución compuesta por dos elementos fácilmente separables y miscibles entre ellos, de manera que uno es el refrigerante y el otro el absorbedor. En la práctica se utilizan básicamente dos tipos de soluciones, la primera de ellas preferentemente en aplicaciones de refrigeración y la segunda en climatización y bombas de calor en general:

- **NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O:** el agua actúa como absorbente y el amoníaco como refrigerante. El enfriamiento en el absorbedor y en el condensador es generalmente por aire. Estos equipos se utilizan para aplicaciones de refrigeración, con temperaturas de hasta -60 °C y como equipos de climatización de hasta 20 kW de potencia.
- **H<sub>2</sub>O-BrLi:** el bromuro de litio se utiliza como sustancia absorbente y el agua como refrigerante. Los equipos que utilizan esta solución se caracterizan por que el enfriamiento en el absorbedor y el condensador es por agua. Pueden producir frío de hasta 5 °C, y se utilizan principalmente para aire acondicionado.

Al contrario de lo que sucede con la cogeneración, las máquinas de absorción son una tecnología menos desa-

rollada y sobre todo menos difundida debido a la enorme expansión de los equipos convencionales. No obstante, el nuevo marco energético que fomenta la reducción de emisiones y la eficiencia ha promovido que desde distintos sectores se esté realizando un importante esfuerzo en desarrollar e introducir comercialmente estos equipos, cuyo potencial de desarrollo en países cálidos es enorme.

## 2.4. Climatización por adsorción

La climatización por adsorción es una tecnología que no se encuentra tan desarrollada como la de absorción, por lo que su utilización no está muy implantada.

La ventaja principal de estos sistemas es que requieren una cantidad muy pequeña de trabajo, es decir; de electricidad, en relación con los sistemas de refrigeración por compresión del vapor. Sin embargo, sí requiere un suministro de calor mucho mayor. Por tanto, únicamente en aquellos casos en los que el calor es suficientemente barato, los ciclos de refrigeración por adsorción son económicamente viables.

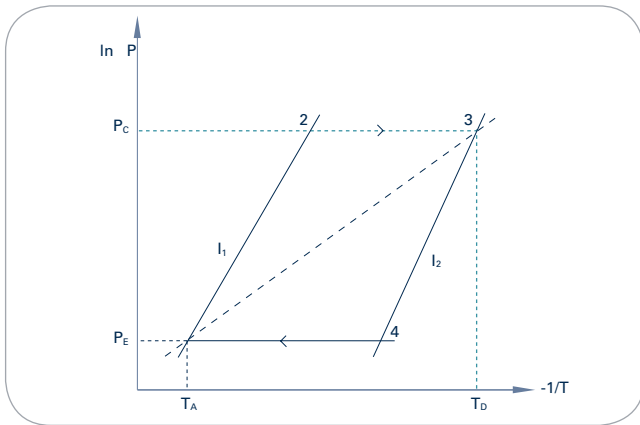
El principio básico de la adsorción consiste en un fenómeno de adherencia superficial entre dos sustancias. Las moléculas de una y otra sustancia no llegan a interpenetrarse, tan sólo quedan relacionadas al nivel de las capas exteriores. Se puede distinguir la adsorción en la superficie de un líquido y en la superficie de un sólido (ya que solamente los líquidos y los sólidos presentan, en virtud de las características de sus estados, una superficie que delimita su volumen).

Los ciclos ideales de adsorción pueden representarse en el diagrama que se muestra en la figura 5.  $\ln P, -1/T$

Para entender el proceso de refrigeración de los sistemas más desarrollados (los que combinan metanol con el carbón activo) es necesario dividir el ciclo en dos semiciclos:

- **Semiciclo I:** el generador se calienta por energía solar absorbiendo una cierta cantidad de calor. Se produce la desorción del metanol al calentarse el carbón activo. El vapor producido en la desorción se licua en el condensador, cediendo una cantidad de calor al medio ambiente.
- **Semiciclo II:** el fluido condensado penetra en el evaporador con lo que se produce su evaporación con absorción de una cierta cantidad de calor de la cámara frigorífica. Los vapores producidos son adsorbidos por el generador liberando una cierta cantidad de calor al medio ambiente.

**FIGURA 6**  
Distribución de las horas de funcionamiento de un motor de cogeneración en los días de invierno.



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

### 2.5. Criterios de viabilidad para un sistema de microgeneración y microtrigeneración

Para que un sistema de este tipo pueda encajar en una instalación del sector servicios se deben de cumplir una serie de requisitos mínimos de funcionamiento y de demanda, que garanticen la amortización de los equipos en el menor tiempo posible. Estos requisitos dependerán fundamentalmente de tres factores:

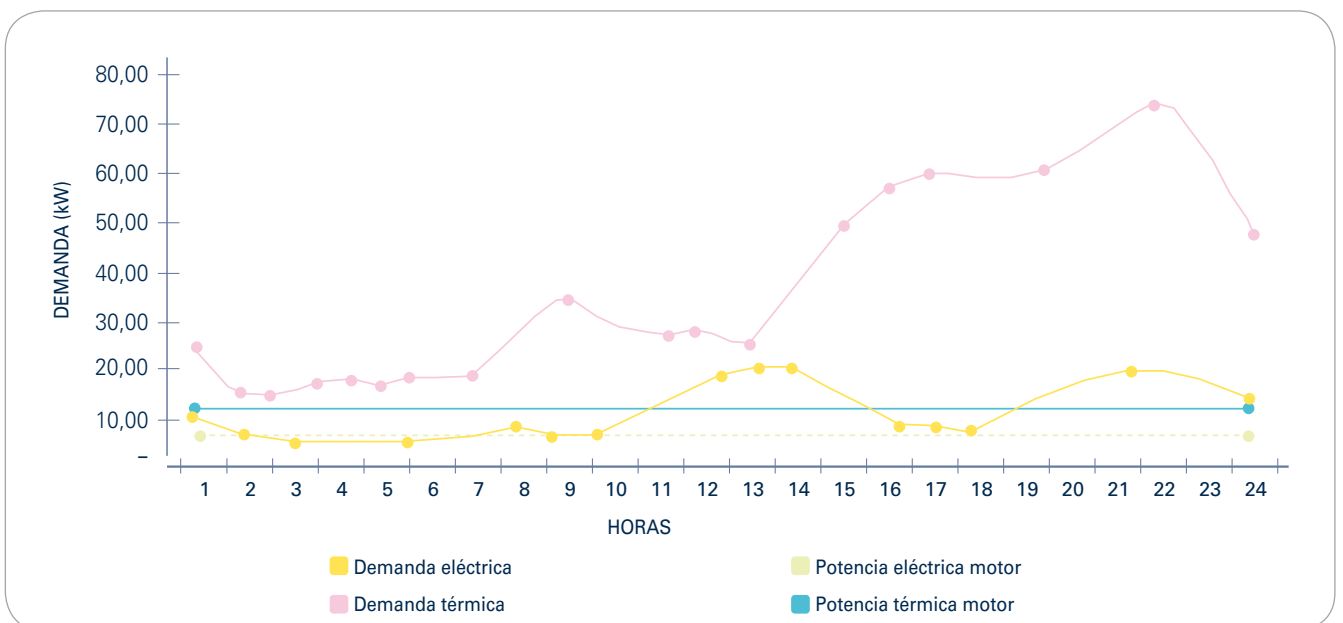
- **Horas de funcionamiento:** las horas de funcionamiento al año es un parámetro clave en los sistemas de microcogeneración o de microtrigeneración, ya que la alta eficiencia de estos equipos permite producir la misma energía a menor coste. Por ello es muy importante asegurar un elevado número de horas de trabajo al año, ya que así se consigue amortizar los equipos en un plazo breve de tiempo.

Como se puede observar en los gráficos siguientes, en invierno, al poder usar la energía térmica para calefacción, el número de horas que se pueden utilizar los equipos cogeneradores es mayor, mientras que en verano, al usar la energía térmica para producir ACS, las horas de funcionamiento son menores.

Este principio corresponde a las instalaciones de cogeneración puesto que, en trigeneración, al poder aprovechar la energía térmica para producir frío mediante una máquina de absorción, el perfil de demanda de los meses de verano sería similar a los de invierno, aumentando por tanto en gran medida las horas de funcionamiento, y por tanto, la rentabilidad de la instalación.

- **Demanda eléctrica:** para instalaciones de pequeña potencia no se plantea la posibilidad de vender los excedentes de energía eléctrica a la red, ya que el proceso administrativo necesario para darse de alta como suministrador y el bajo precio obtenido por la venta de los excedentes, sumado al coste de adapta-

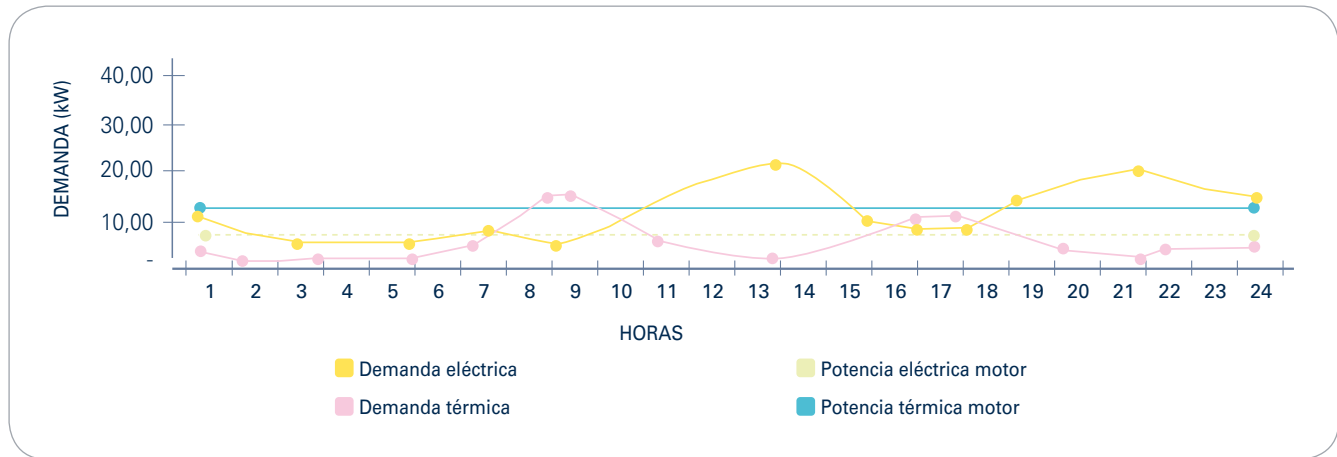
**FIGURA 6**  
Distribución de las horas de funcionamiento de un motor de cogeneración en los días de invierno.



Fuente: BESEL, S.A.

FIGURA 7

Distribución de las horas de funcionamiento de un motor de cogeneración en los días de primavera, otoño y verano.



Fuente: BESEL, S.A.

ción de los equipos requeridos para cuantificar el balance de energía importada y exportada, no hace económicamente rentable esta posibilidad, por lo que queda el autoconsumo de la energía eléctrica generada como la opción más rentable y deseable para este caso.

Por ello es necesario que la demanda de energía eléctrica de la instalación sea superior a la potencia del equipo generador a instalar un número de horas suficientes al año. Lo ideal sería que la demanda fuese siempre superior, de forma que el equipo funcionase de forma continua.

- **Demanda térmica:** al igual que sucede con la demanda eléctrica, es necesario que la instalación demande una cantidad de energía térmica que permita al sistema estar operativo el mayor número de horas al año. La instalación de una máquina de absorción permite darle una utilidad a la energía térmica producida en los meses cálidos del año, aumentando el número de horas de funcionamiento del sistema de microtrigeneración.

### 3. Iluminación en el sector servicios

No todos los edificios requieren los mismos niveles de iluminación para la realización de las actividades a los que están destinados, por lo que los sistemas de iluminación no pueden ser iguales. Según el tipo de estancia o de edificios que se van a iluminar, y según el tipo de actividad que se lleve a cabo en ellos, nos encontramos con una serie de requisitos que se deben cumplir para garantizar la realización de las actividades con un alto grado de confort y de seguridad. Estos requisitos son los valores o parámetros mínimos de iluminación.

Estos parámetros de iluminación, que recomiendan un nivel mínimo de iluminación en lux (lx), son muy diferentes entre sí, y dependen, por ejemplo, de si en una estancia determinada se realiza una labor de precisión o no, ya que estas últimas requieren niveles de iluminación superiores, o si las zonas son de paso o de estancia de personas.

#### 3.1. Clasificación de los sistemas de iluminación

Al igual que los niveles de iluminación no pueden ser los mismos para todos los edificios, los sistemas de alumbrado deben ser también diferentes. Según las actividades a las que se destinan las estancias que se van a iluminar, se pueden encontrar cuatro tipos de sistemas de iluminación:

- **Sistemas de alumbrado general.** Esta configuración consiste en el empleo de un alumbrado general directo que proporcione la iluminancia horizontal y la uniformidad requeridas. En cualquier punto de una estancia con este sistema se puede convertir en un puesto de trabajo.

La disposición recomendada para este tipo de alumbrado es la de luminarias situadas en líneas paralelas al plano de las ventanas. A su vez, es conveniente, siempre que sea posible, que la primera fila de luminarias (la más próxima a las ventanas), se encuentre con una separación menor a 1,5 m de éstas.

- **Alumbrado localizado:** mediante esta distribución, pueden obtenerse ahorros energéticos importantes, puesto que lo que se pretende es iluminar con los valores adecuados únicamente los puntos de trabajo,



**Luminarias recomendadas en centros docentes.**

Fuente: IDAE.

y colocar unos niveles más bajos en el resto de puntos de la estancia. Este sistema, que se suele basar en puntos individuales de luz, tiene la ventaja adicional de que cuentan con un sistema de control independiente del de la iluminación general de la estancia.

- **Alumbrado general y local:** consiste en la combinación del alumbrado general y del localizado. En este caso, el alumbrado general es de bajo nivel, y se obtiene mediante una disposición regular de luminarias.

Por otra parte, el alumbrado local del puesto de trabajo necesario para complementar el general de bajo nivel deberá permitir que la tarea se realice confortablemente para el trabajador, es decir, evitar el deslumbramiento.

- **Alumbrado directo-indirecto:** el alumbrado directo es aquel en el que la mayor parte del flujo luminoso se emite hacia el plano de trabajo (generalmente hacia la zona inferior de las estancias). Los modernos sistemas de iluminación de oficinas, por ejemplo, suelen estar formados por luminarias de montaje empotrado o en superficies provistas de ópticas especulares de alta eficiencia, preferiblemente con características de distribución en haz.

Por otro lado, el alumbrado indirecto dirige la mayor parte de la luz hacia el techo y las zonas superiores de las estancias, por lo que no suelen emplearse como iluminación de zonas de trabajo.

Por tanto, dependiendo del uso que se le vaya a dar a las diferentes estancias de un edificio o local de servicios, se escogerá entre uno de los sistemas de iluminación anteriores.

**3.2. Luminarias recomendadas para diferentes actividades**

Como referencia a la hora de implantar un sistema de iluminación en un centro perteneciente al sector servicios, se proponen las luminarias más eficientes para tres tipos de actividades: docente, sanitaria y administrativa.

- En primer lugar, para centros destinados a la docencia, las luminarias más recomendadas para su instalación son:

1. Luminarias de adosar, para lámparas fluorescentes compactas con celosías especulares para evitar deslumbramientos (estas luminarias deben formar parte de la iluminación general de las aulas informáticas o despachos) o con celosía difusa (se utilizarían para la iluminación general del centro).
2. Luminarias de adosar o suspender con celosías especulares (iluminación general de aulas y despachos con uso de pantallas) o difusas (iluminación de zonas de uso general) para lámparas fluorescentes lineales.
3. Luminarias para empotrar con celosía especular o difusa para lámparas fluorescentes lineales o compactas, utilizadas de forma similar que en los casos anteriores.
4. Downlights de empotrar para lámparas fluorescentes compactas, que se utilizarán en áreas de entradas, pasillos, etc.
5. Luminarias estancas para zonas cubiertas utilizadas, con lámparas de descarga de tipo vapor de mercurio con halogenuros metálicos o vapor de sodio de alta presión.

- En segundo lugar, para centros sanitarios, se recomienda:

1. Luminarias suspendidas directas o indirectas con celosías especulares y lámparas fluorescentes lineales o compactas, para la iluminación general de salas donde se utilicen pantallas.
2. Luminarias de empotrar con celosías especulares para lámparas fluorescentes lineales o compactas, usadas para el alumbrado general.

3. Sistemas tubulares con lámparas fluorescentes lineales para la iluminación de las zonas de entrada.
  4. Bañadores empotrados de pared con lámparas fluorescentes compactas, para la iluminación de pasillos y zonas perimetrales de estancias.
  5. Downlights de empotrar para lámparas fluorescentes compactas o de descarga de halogenuros metálicos, instaladas en zonas de admisión, entradas, etc.
- Por último, en centros administrativos se propone:
    1. Luminarias de adosar con ópticas de aluminio especular o semimate para lámparas fluorescentes lineales o compactas, para la iluminación general.
    2. Luminarias de adosar o suspender con óptica especular, mate o decorativa, para lámparas fluorescentes lineales.
    3. Luminarias de adosar en el techo o la pared con óptica especular o difusa para lámparas fluorescentes lineales o compactas.
    4. Downlights de empotrar para luminarias fluorescentes compactas o lámparas de descarga, con ópticas antideslumbramiento (en zonas con uso de pantallas) o decorativas (en zonas de pasillos, entradas, etc.).

### 3.3. Mantenimiento de las instalaciones de iluminación

Para el funcionamiento correcto de las instalaciones de iluminación, no sólo hay que tener en cuenta la instalación de unos buenos equipos (lámparas, luminarias, sistemas de regulación y control o equipos auxiliares), sino que hay que tener en cuenta la progresiva reducción del rendimiento luminoso de los sistemas por la acumulación de polvo y suciedad.

Es importante que desde las empresas se prevea un programa detallado de mantenimiento y limpieza de los sistemas de iluminación, que se debería realizar de forma periódica. Como principales acciones que se deben llevar a cabo en el proceso de mantenimiento hay que destacar las siguientes:

- Operaciones de reposición de lámparas con la frecuencia de reemplazamiento. En este punto, debe

comprobarse la iluminación ofrecida y su intensidad, ya que aunque las lámparas continúen funcionando, el flujo luminoso radiado por ellas al final de su vida útil es un 70% del inicial y su consumo es mayor, es decir, a partir de un determinado momento, la emisión luminosa en relación con su consumo hace aconsejable su sustitución.

- En las lámparas de descarga, incluyendo los tubos fluorescentes, no es normal que fallen de forma instantánea, sino que su fallo es precedido por un parpadeo, encendiéndose y apagándose repetidamente. Es necesario controlar estas anomalías para proceder al cambio de la lámpara, comprobando previamente que es ésta y no el arrancador el que debe ser cambiado. En un circuito de encendido de una lámpara fluorescente es recomendable probar con un cebador nuevo antes de desprenderse de la lámpara.
- Al reemplazar la lámpara, la nueva deberá ser de la misma potencia y clase que la antigua. Una lámpara de potencia superior puede recalentar la luminaria. En las lámparas de descarga el cambio debe hacerse compatible con el equipo auxiliar de encendido.
- En instalaciones de gran tamaño, lo más adecuado es reemplazar todas las lámparas en un momento determinado, en lugar de sustituirlas a medida que dejan de funcionar.
- Limpieza precisa de luminarias, sobre todo de las superficies reflectoras y difusoras, con la metodología prevista, y limpieza de la zona iluminada, y se debe incluir en ambas la periodicidad necesaria.
- La simple labor de limpieza periódica de luminarias aporta una serie de ventajas, ya que su no realización reduce el flujo luminoso de la lámpara en un valor que oscila entre 0,75 y 0,9; es decir, se pierde entre un 75% y un 90% del flujo luminoso sólo por el hecho de no limpiar la luminaria, el reflector o el cierre.
- Si las luminarias incorporan difusores de plástico, lisos o prismáticos, y están envejecidos por el uso, deben sustituirse.
- La deposición de polvo sobre las luminarias y lámparas está afectada por el grado de ventilación, el ángulo de inclinación, el acabado de las superficies que forman las luminarias y el grado de contaminación del ambiente que las rodea, por lo que habrá que tener en cuenta estos factores a la hora de establecer la asiduidad con la que se realizan los procesos de limpieza.

- En locales con alto grado de contaminación lo idóneo es la utilización de luminarias estancas.
- Limpieza periódica de los cristales de las ventanas y las superficies que forman los techos, para mantener la transmisión de luz natural y su reflectancia.
- Es conveniente mantener limpios y pintar o repintar en el caso de que sea necesario, las paredes y techos de las instalaciones con colores claros para incrementar la reflexión de la luz y así poder disminuir la necesidad lumínica del centro.

#### 4. Buenas prácticas en el uso de la energía en el sector servicios

Siempre es interesante para una empresa reducir sus costes. En el caso particular de los costes energéticos, este interés está muy relacionado con la disponibilidad de los recursos energéticos convencionales, que son los que más se utilizan en la actualidad y, previsiblemente, en el medio plazo.

En la actualidad, además de criterios económicos evidentes (los costes directos de la energía eléctrica y los combustibles), se van incorporando evaluaciones más globales (costes-beneficios), que incluyen aspectos medioambientales, particularmente los gases de efecto invernadero y los cálculos del ciclo de la vida de los equipos, en los que la eficiencia energética es un factor muy relevante en la toma de decisiones.

A la hora de mejorar la eficiencia energética de las empresas, el primer enfoque se orienta hacia las buenas prácticas de uso de la energía, ya que no implican una inversión grande sino la organización del consumo energético con unos procedimientos rutinarios que hacen propia la eficiencia energética. Es decir, se pueden producir importantes ahorros energéticos y económicos, con una inversión nula o muy pequeña, ya que no requiere un conocimiento profundo de las tecnologías energéticas, y no implica menoscabo de la actividad normal ni de los niveles de confort de los trabajadores o usuarios de las instalaciones.

La observación de unas buenas prácticas energéticas produce el beneficio adicional de la mayor durabilidad, fiabilidad y disponibilidad de los equipos consumidores de energía.

La utilización de las mejores prácticas energéticas para promocionar la eficiencia energética tiene como fundamento que los organismos conceden más credibilidad a la experiencia de la empresa que a estudios teóricos contrastados.

Por eso, la recopilación de las mejores prácticas energéticas, su análisis y la presentación organizada y documentada tiene un mayor efecto divulgador.

Por último, cabe destacar que, aunque las actividades de las empresas incluidas en lo que se conoce como sector servicios son muy diferentes, al poseer generalmente los mismos sistemas (iluminación, climatización, equipos eléctricos, etc.), las buenas prácticas que se deben considerar son comunes para todas.

#### 4.1. Buenas prácticas en equipos eléctricos

La facilidad de control de los equipos eléctricos permite que con unas pocas medidas sencillas se produzcan grandes ahorros.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que los parámetros principales para evaluar la eficiencia energética de un receptor o carga eléctrica son dos:

- Factor de potencia.
- Distorsión armónica.

Los receptores con un bajo factor de potencia y una alta distorsión armónica originan mayores pérdidas en las líneas y un sobredimensionamiento de los sistemas de generación y transporte de la electricidad.





#### 4.2. Buenas prácticas en equipos informáticos

En este apartado, debemos tener en cuenta que en general, con los equipos informáticos no estamos concienciados de su consumo real y tendemos a dejarlos encendidos en todo momento: en los descansos de media mañana, en los descansos de la hora de comer, por la tarde, etc.

Como pautas de buenas prácticas en los equipos informáticos encontramos:

- Es conveniente evitar mantener encendidos los equipos informáticos durante todo el tiempo.
- Se deben apagar los equipos siempre que no se vayan a utilizar en un período de tiempo de media hora o más.
- En caso de no utilizarlos en un período inferior, se debe apagar la pantalla, ya que es la parte del ordenador que más energía consume.

TABLA 2  
Características de las lámparas más utilizadas en el sector servicios.

Tipo de lámpara	Imagen	Índice de reproducción cromática (0-100)	Vida útil (horas)	Eficacia luminosa (lm/W)	Equipo auxiliar	Observaciones	Coste
Incandescente		100	1.000	9-17	–	Evitar	Reducido
Fluorescente		60-95	8.000-12.000	65-100	Arrancador, balasto y condensador	El balasto electrónico reduce su consumo en un 25%	Reducido
Fluorescente compacta		85	8.000-12.000	45-70	Equipo electrónico incorporado	Retardo en encendido. Las integradas sustituyen directamente a las incandescentes	Medio
Halógena		>90	2.000	15-27	–	Encendido instantáneo. Elevada intensidad luminosa. Corta duración de la lámpara y reducida eficacia luminosa.	Medio
Halógena de bajo consumo		>90	2.000-3.000	18-25	Transformador	Ahorro de un 30% en consumo energético. Mayor vida luminarias y menor calentamiento del ambiente.	Medio

- Se debe programar el apagado de forma automática de la pantalla cuando el tiempo de inactividad supera los diez minutos.
- Pase las fotocopiadoras a estado Stand-By cuando no se usen en períodos largos, ya que reduce la potencia demandada por el equipo y, por tanto, su consumo, sin apagar la fotocopiadora.

Normalmente tendemos a dejar encendido el ordenador por comodidad o descuido. Si se tienen en cuenta estos consejos, podemos disminuir nuestro consumo energético de forma considerable.

Estas recomendaciones son igualmente aplicables al resto de equipos eléctricos que se pueden encontrar en las empresas de servicios, como por ejemplo, televisores, vídeos, reproductores de DVD, etc.

### 4.3. Buenas prácticas en la instalación de iluminación

La iluminación de las empresas se suele dejar en manos de los instaladores y/o mantenedores de los sistemas eléctricos, que suelen ser buenos profesionales pero ajenos a éstas. Con una dedicación propia no excesiva pueden detectarse algunas mejoras sin inversión, relacionadas con la gestión del alumbrado, la planificación y el mantenimiento (lo que aporta resultados inmediatos).

En este aspecto hay que resaltar la gran importancia que puede tener una campaña de concienciación en el uso eficiente y racional de la energía entre el personal de las empresas. En términos generales, se calcula que es posible ahorrar en gastos de iluminación hasta un 15% simplemente con un adecuado comportamiento del personal.

Entre las recomendaciones aplicables al sistema de iluminación, destacan:

- Es conveniente examinar los niveles de iluminación en todas las zonas de trabajo, implicando al personal en esa tarea. En zonas no importantes, como pasillos o almacenes o lugares de poco tránsito, es conveniente reducir los niveles de iluminación, pero teniendo en cuenta que deben mantenerse unos valores mínimos. Para ello:
  1. Se pueden suprimir alguna lámpara fluorescente en las luminarias multitubo.
  2. Se pueden suprimir los puntos de luz superfluos.
  3. Se pueden sustituir luminarias.
  4. Se debe animar al personal para que apague las luces innecesarias fuera de las horas de trabajo, o cuando no son necesarias.



**Iluminación natural en la sede de Gas Natural Fenosa en Madrid.**

- Para trabajos específicos, se debe disponer de alumbrado localizado, de forma que no haya que aumentar la iluminación general.
- Es corriente que las zonas no críticas, como los pasillos, estén iluminadas excesivamente. También en las zonas más exigentes y, por tanto, más intensamente iluminadas (donde se realizan actividades de precisión y de diseño), suele mantenerse todo el alumbrado encendido durante las labores de limpieza y vigilancia, sin que haya necesidad de ello.
- Cuando el diseño del alumbrado implica un nivel excesivo en muchas zonas, debe reducirse el nivel general y reforzar solamente las zonas que realmente lo requieran.
- Se debe realizar una limpieza y un mantenimiento programado de los sistemas de alumbrado, por lo menos una vez al año, aunque la frecuencia de estos trabajos debería depender de la actividad que se realiza en las estancias.

La suciedad en lámparas, difusores y luminarias reduce considerablemente el flujo de luz emitido, lo que repercute en que para alcanzar el nivel original en el puesto de trabajo, hay que encender más puntos de luz y, por tanto, consumir más energía.

La mayor pérdida de iluminación en una instalación viene dada por la suciedad depositada sobre las lámparas y luminarias. El origen de esa suciedad en los sistemas de iluminación se debe en gran medida a:

1. El grado de ventilación, ya que una buena circulación de aire en el interior de la sala evita que se deposite el polvo en las superficies, entre ellas las lámparas y luminarias.
  2. Con el ángulo de inclinación, que viene determinado en las características de la luminaria.
  3. El acabado de las superficies que forman las luminarias.
  4. El grado de contaminación del ambiente que las rodea, como puede ser una sala en la que se ha fumado y está llena de humo.
- Por último, debemos aprovechar la luz natural, limpiando los cristales de las ventanas y superficies que forman las paredes y techos para de esta forma conseguir que se refleje la luz natural. La limpieza y, sobre todo, los colores claros en las paredes y los techos son importantes para obtener un buen nivel de luz.

No seguir estos procedimientos suele traducirse en situaciones de ineficiencia, y por tanto, de consumo excesivo de energía, como por ejemplo:

- La reducción del nivel de iluminación necesario para la realización de las tareas en condiciones de confort y seguridad.
- Se obtienen rendimientos más bajos de lo normal por parte de la instalación.
- Se encuentra un aspecto descuadrado de la instalación.

Otro punto que se debe tener en cuenta es el flujo luminoso de las lámparas. Éste disminuye con el tiempo, y es diferente de unas lámparas a otras. Existen lámparas que siguen luciendo por un largo período de tiempo, pero debemos seguir los consejos del fabricante y cambiarlas cuando ha pasado el ciclo de vida útil, ya que la relación entre su emisión luminosa y su consumo no es aconsejable.

#### 4.4. Buenas prácticas en los sistemas de climatización

Los gastos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire representan una proporción significativa del dinero que se gasta en energía.

La calefacción puede llegar a representar una parte muy importante de la energía consumida, ya que, dependiendo del tipo de energía utilizada, puede significar más del 50% de los costes energéticos totales.



No obstante, al igual que sucede con la iluminación o con los equipos eléctricos, con una serie de consejos se puede optimizar el funcionamiento de los sistemas, haciendo que sean más eficientes y reduciendo, por tanto, el consumo y su coste energético. Estos consejos se recogen a continuación:

- Se debe verificar que las empresas o edificios no se calientan a más de 20 °C:
  1. Se puede comprobar por medio de los termostatos.
  2. En el caso de que sí se superen los 20 °C, se debe plantear la situación.
  3. Por último, se pueden colocar carteles indicativos con mensajes para concienciar al personal.

Hay que tener en cuenta que el nivel recomendado se sitúa entre los 20 °C y 22 °C en función del tipo de actividad que se desempeñe.

También se puede considerar reducir el nivel de calefacción en ciertas zonas, donde no haya un tránsito continuo de personas o donde las cargas térmicas aportadas por el propio personal y los equipos de iluminación e informáticos sean altas.

- Se debe animar al personal a reducir la calefacción cuando sienta demasiado calor, en lugar de abrir las ventanas.
- Se deben comprobar que los termostatos están colocados en zonas libres lejos de ventanas, fuentes de calor o corrientes.

Si se coloca el termostato en un lugar frío o con corriente, el resultado será el sobrecalentamiento. En cambio, si está cerca de una fuente de calor, el resultado será el bajo calentamiento.

- Se deben programar los temporizadores de calefacción/ventilación para los ciclos de ocupación y las diferentes condiciones climáticas.

Se ahorra dinero si se ajustan los períodos de precalentamiento a las condiciones climáticas. El calor almacenado en los radiadores y en el resto del edificio es a menudo suficiente para permitir apagar la calefacción antes acabar el horario de ocupación.

Debido a la importancia en el consumo energético que en nuestro país tienen los sistemas de calefacción, se debe hacer una mención especial al correcto funcionamiento de los equipos generadores de calor, ya que con un buen mante-

nimiento y unas pautas eficientes de funcionamiento, se puede reducir el consumo energético de un edificio.

- Las calderas deben conectarse lentamente, y nunca se debe inyectar agua fría a un sistema caliente. Los cambios súbitos de temperatura pueden torcer o quebrar la caldera.
- Por otro lado, debido a que en las calderas se produce un proceso de combustión, es necesario tomar precauciones especiales. Los operadores de las mismas deben asegurar que el sistema de combustible, incluyendo las válvulas, tuberías y tanques, esté funcionando correctamente y sin fugas.
- Igualmente, es necesario que los operadores purguen la caldera antes de encender el quemador, para evitar posibles explosiones. Los trabajadores deben ajustar la condición del tiro y la llama para asegurarse de que ésta no sea demasiado alta ni que eche humo.
- Además, los sistemas de ventilación también deben inspeccionarse y mantenerse para asegurar que los gases producto de la combustión no se acumulen en la sala de calderas.
- Por último, el área que rodea a la caldera debe mantenerse libre de polvo y desperdicios, y no se deben almacenar materiales combustibles cerca de ninguna caldera, ya que éstas tienen superficies calientes que pueden causar la combustión de estos productos.

Para poder llevar a cabo estas recomendaciones de forma controlada, se debe:

- Revisar temporalmente la combustión de la caldera.
- Mantener la caldera en perfecto estado de limpieza y revisar la combustión del quemador temporalmente. Manteniendo la caldera limpia, evitamos la suciedad en los quemadores y con ello logramos un menor consumo de combustible.
- Un técnico especializado debe verificar la relación de aire/combustible, a la vez que asegura el mantenimiento de los quemadores bien ajustados y limpios para conseguir una combustión eficiente.
- Con esta medida evitamos un mayor consumo de combustible.
- Purgar los radiadores de la caldera, ya que el aire contenido en los radiadores dificulta la transmisión de calor.





## 06 | Eficiencia y Ahorro Energético en Urbanismo y Edificación

## 1. Introducción

En su Libro Verde, "Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético", la Comisión Europea puso de relieve los siguientes aspectos fundamentales:

- La Unión Europea (UE) se hará cada vez más dependiente de las fuentes exteriores de suministro; la ampliación no hará sino aumentar esta tendencia. Según las previsiones actuales, si no se toman medidas, la dependencia de las importaciones alcanzará un 70% en 2030, frente al 50% actual.
- La emisión de gases de efecto invernadero está aumentando, lo que contrarresta los esfuerzos realizados en el ámbito del cambio climático y entorpece además el cumplimiento de los compromisos asumidos en el Protocolo de Kioto.
- El flujo que la Unión Europea puede ejercer sobre las condiciones de la oferta de energía es escaso. La intervención de la Unión podría realizarse fundamentalmente en el lado de la demanda, fomentando, ante todo, el ahorro energético en los edificios y en el sector del transporte.

Estas afirmaciones demuestran lo necesario que es economizar energía siempre que sea posible. Está comprobado que los sectores de la vivienda y el terciario abarcan el mayor número de consumidores finales de energía, especialmente a causa del funcionamiento de la calefacción, alumbrado, aparatos eléctricos y equipamientos varios. Numerosos estudios, y también la experiencia práctica, demuestran que en este terreno existe un gran potencial de aumento del rendimiento energético, mayor quizá que en los demás sectores. Es necesario, por lo tanto, intensificar los esfuerzos de los estados miembros y la Comunidad en este sentido.

## 2. Influencia de la planificación urbana

### 2.1. Situación de partida en el ámbito europeo

Actualmente la tendencia que se sigue en toda construcción moderna está dirigida a aplicar los requerimientos necesarios para conseguir tanto un diseño como una construcción sostenibles promoviendo a la vez una arquitectura de alta calidad y favoreciendo las nuevas tecnologías de construcción.

En la actualidad, en el ámbito de la Unión Europea, el calentamiento y la iluminación de los edificios absorben la mayor parte del consumo de energía (42%, del que un 70% corres-

ponde a la calefacción) y produce un 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Si a esto unimos que en los últimos años se ha detectado un incremento sustancial del consumo energético debido a la proliferación de sistemas de aire acondicionado, (que se aproxima cada vez más al correspondiente a calefacción), podemos entender la gran preocupación existente entre los estados miembros por reducir dicho gasto.

En el caso de España este porcentaje es menor (en torno al 20%), pero también tiende a incrementarse año a año.

La mitad de los materiales de que están hechos los edificios y construcciones proceden de la corteza terrestre, y producen anualmente 450 megatoneladas (Mt) de residuos de construcción y demolición (más de una cuarta parte de todos los residuos generados).

La comunicación de la Comisión Europea "Hacia una estrategia temática para la prevención y el reciclado de residuos señala que el volumen de residuos" derivados de la construcción y la demolición aumenta constantemente y que su naturaleza es cada vez más compleja, a medida que se diversifican los materiales utilizados. Este hecho limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos (que en la actualidad es sólo de un 28%), lo que aumenta la necesidad de crear vertederos y de intensificar la extracción de minerales.

Sostiene el documento que dotar de aislamiento a los edificios antiguos significaría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los edificios, así como los costes de energía correspondientes, hasta un 42%.

Para desarrollar la construcción sostenible, la Unión Europea propone diversas medidas aplicables:

- Como se señalaba en la Directiva 2002/91, la Comisión, con la asistencia del comité establecido por la propia directiva, examinará posibles alternativas de renovación de los edificios más pequeños, así como incentivos generales de eficiencia energética.
- Se alentará a todos los estados miembros a desarrollar y poner en práctica un programa nacional de construcción sostenible y a fijar unas exigencias de eficiencia medioambiental rigurosas utilizando normas europeas y el eurocódigo.
- Se alentará asimismo a las autoridades locales a promover la construcción sostenible.
- Se instará a todos los estados miembros, autoridades locales y organismos públicos contratantes a utilizar requisitos de sostenibilidad en sus procedimientos de

licitación de edificios y obras de construcción, así como en la utilización de fondos públicos para dichos edificios y obras.

- Asimismo, se les pedirá que creen incentivos fiscales en pro de unos edificios más sostenibles. La Comisión analizará posibilidades de formación, orientación e intercambio de experiencias, así como de investigación, acerca de la construcción sostenible.
- Por otro lado, y como parte de la estrategia temática para la prevención y el reciclado de residuos, estudiará medidas para atender el problema del volumen creciente de residuos de la construcción y la demolición.
- La Comisión desarrollará el etiquetado medioambiental de los materiales de construcción (mediante declaraciones medioambientales o etiquetas ecológicas de la UE) y propondrá una etiqueta ecológica o una declaración medioambiental armonizada para la construcción o los servicios de construcción.

En la Carta Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles (aprobada en una reunión oficiosa de ministros sobre desarrollo urbano celebrada en Leipzig el 25 de mayo del 2007), y en lo referente a eficiencia energética en el ámbito de la edificación se defendió la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los edificios. Esto atañe tanto a los edificios existentes como a los de nueva planta. La renovación del parque de viviendas puede tener un impacto importante en la eficiencia energética y en la mejora de la calidad de vida de los residentes. Ha de prestarse una atención especial a los edificios prefabricados antiguos y de baja calidad. Unas redes de infraestructuras optimizadas y eficientes y unos edificios energéticamente eficientes abaratarán los costes tanto para las empresas como para los residentes. La eficiencia energética de los edificios ha de mejorarse.

Para esclarecer el abanico posible de intervenciones y su influencia en el resultado final hay que ser conscientes de la relación de niveles existentes en el proceso edificatorio:

1. Planeamiento urbanístico (fase de proyecto).
2. Adecuación del soporte construido (fase de construcción).
3. Uso de energías renovables.
4. Instalaciones más eficientes.
5. Condiciones de uso, mantenimiento y gestión de la instalación y del edificio.
6. Coste de explotación y niveles de confort.

Según el orden de este esquema, una intervención descuidada o negativa en un escalón conlleva mayores dificultades, y por lo tanto mayores costes para conseguir resultados mejorados en los siguientes; y así sucesivamente.

Una ordenación urbanística inadecuada, conducirá a reducir en gran medida los logros posibles del posterior proceso de diseño del edificio y sus instalaciones. Un edificio mal construido y/o diseñado, dificultará las condiciones de uso de sus instalaciones, reducirá los niveles de confort y aumentará los costes de explotación al consumir más energía.

Otra conclusión, que hay que tener en cuenta a partir del esquema anterior, es que aquellas soluciones que mejor consigan integrar en el resultado final todos los escalones del proceso alcanzarán los mejores niveles de confort y eficiencia posibles.

Igualmente, olvidar la influencia que ejercen de forma aislada puede no sólo reducir los logros, sino anular o invertir el signo de los resultados.

Así unas soluciones de uso difícil o complicado por parte de los usuarios, o no prever un sistema de control, gestión y mantenimiento eficaz y cómodo durante la vida del edificio, pueden conducir la experiencia a un rotundo fracaso.

## 2.2. Criterios de eficiencia energética en el planteamiento urbanístico

### 2.2.1. Modelos y usos urbanos

Dado que las características del microclima urbano condicionan las necesidades energéticas de los futuros desarrollos urbanos se deberán tener en cuenta dichas condiciones climáticas.

- El planeamiento urbanístico debe tener como objetivo el aprovechamiento de las condiciones ambientales favorables, así como el control de aquellas que sean desfavorables.
- Hay que considerar las condiciones microclimáticas y energéticas de los emplazamientos en la clasificación del suelo y, en general, en la toma de decisiones.
- Asignación de parámetros al sector: los valores de edificabilidad o aprovechamiento y la densidad se deben asignar en función de las características microclimáticas de los emplazamientos.

- Las áreas con pendiente del terreno con orientación sur permiten un desarrollo de mayor densidad urbana que las áreas llanas, puesto que las obstrucciones entre edificios son menores.
- En las zonas cálidas, con mayores necesidades de refrigeración que de calefacción, las pendientes con orientación oeste son las menos favorables para la eficiencia energética.
- En las zonas cálidas, con mayores necesidades de refrigeración que de calefacción, las pendientes con orientación oeste son las menos favorables para la eficiencia energética.
- Hay que buscar el equilibrio entre densidad y ocupación de espacio libre.
- El planteamiento debe tener por objetivo la preferencia por la regeneración de los cascos urbanos a la extensión territorial de la ciudad.
- Fijar los objetivos de ahorro energético a la ordenación: es necesario analizar el conjunto de la actuación desde una perspectiva ambiental y energética y plantearse el impacto de las principales alternativas. Hay que establecer unos objetivos ambientales y energéticos mínimos para el conjunto de la actuación y justificar la ordenación desarrollada sobre la base de esos objetivos.
- En aquellos municipios donde el planeamiento deba considerar un régimen de vientos característico, será necesario fijar como objetivo de la ordenación corregir o controlar el régimen de vientos.

### 2.2.2. Distribución de las zonas edificables y los espacios libres

Habrá que distribuir la edificación, las zonas verdes y los edificios de servicios de manera que permitan el mayor y mejor uso energético de todos ellos, en función de las tipologías escogidas y de las condiciones climáticas de la zona.

- Se debe tener en cuenta que, las viviendas, calles y otras zonas de circulación necesitan sombra en verano mientras que los colectores de agua caliente sanitaria así como piscinas y los jardines necesitan sol. La orientación sur de los edificios es la que mayores cotas de sombra en verano proporciona. No obstante, para garantizar el sombreado en verano de las zonas de uso público, el papel de la vegetación es muy importante.

- Existen usos apropiados para las zonas en sombra en invierno, como por ejemplo, los centros comerciales, que tienen una fuerte demanda energética y no aprovechan las condiciones ambientales en ningún caso.

### 2.2.3. Trazado de viales, forma y tamaño del lugar

Debe realizarse en función de la topografía u otros condicionantes del lugar, pero siempre de forma que no perjudique la orientación de los edificios, con vistas a que éstos presenten las mínimas necesidades energéticas tanto en invierno como en verano.

Puntos que hay que tener en cuenta:

1. Trazado de las calles y captación y control solar: la orientación sur de la edificación es la que mejor comportamiento energético consigue en invierno y en verano por cuanto los aportes por radiación son máximos en invierno y mínimos en verano.



Zonas verdes en el centro de la ciudad.

2. Las superficies con mayor captación solar en invierno son las fachadas sur, con mucha diferencia respecto a otras orientaciones de la fachada.
3. Las superficies con mayor captación en verano son las cubiertas, seguidas de las fachadas este y oeste.
4. Trazado de calles y control del viento:
  - Si el trazado de calles y la posición de la edificación tiene en consideración el mantener los flujos naturales de aire y frío, durante el día y la noche, en función de la orientación del valle, la situación del mar, etc., asegurando así la correcta ventilación natural en verano.
  - Evitando alinear las vías con las direcciones predominantes, rompiendo la regularidad de las alineaciones, salvando los edificios singularmente altos, etc., se pueden controlar regímenes de vientos nocivos.
5. Tener en cuenta las obstrucciones solares generadas por la edificación al fijar la anchura de las calles y la posición de dicha edificación respecto a la alineación vial. El plano de sombras es la herramienta que permite la verificación de esta premisa.
6. Dado el clima de España habrá que considerar además el beneficioso sombreado de la calle en verano. La orientación de las calles este-oeste es la que mayores sombras proporciona en verano.

#### 2.2.4. Parcelación

La configuración de las parcelas, junto con los demás parámetros de ordenación de la ciudad van a condicionar la posición de los edificios y, por tanto, su eficiencia energética.

- Configurar solares en los que los edificios puedan ubicar la fachada principal con orientación sur incluso buscando patrones no rectangulares. La orientación sur es aquella que mejor aprovecha los sistemas pasivos de climatización.
- Diseñar parcelas de solares que no determinen edificación con grandes profundidades. La tipología de profundidad reducida es preferible en cuanto comporta disponer viviendas con dos fachadas opuestas por lo que influye sobre la ventilación natural cruzada y garantiza que cualquier vivienda tenga siempre una fachada mejor orientada.

#### 2.2.5. Posicionamiento de la edificación y separaciones entre edificios

Se debe cuidar la posición del edificio teniendo en cuenta el microclima, la insolación, la contaminación acústica, la ventilación, y todos aquellos parámetros cuyo control pueda incrementar el potencial del ahorro energético.

- El planeamiento no debe imponer restricciones que impidan las soluciones bioclimáticas u otras.
- La normativa urbanística debe incluir varios conceptos:
  1. Orientación.
  2. Diversidad de las fachadas en función de la orientación.
  3. Obstrucción solar.
  4. Otros que influyan sobre el comportamiento energético de los edificios.
- En aquellas zonas donde la calefacción sea la necesidad más importante se deben distribuir las tipologías edificatorias en función de las ganancias solares en los meses más fríos y además sus sombras no deben afectar al acceso al sol de los edificios colindantes.
- Hay que estudiar la relación entre la altura del edificio y el ancho de espacio libre, ya sean calles, espacios verdes o públicos en función del gasoleo.
- Asimismo, hay que asegurar el acceso al sol a las viviendas. La separación entre los límites y el vial no debe perjudicar el asoleo de los edificios colindantes.
- Para verificar el cumplimiento de la condición de acceso al sol es recomendable emplear un estudio gráfico de sombras en planta. Por tanto, se puede exigir en la documentación necesaria en el Plan de Ordenación Urbana (POU), el plano de proyección de sombras permanentes y proyectadas en la ordenación propuesta.
- Debe ubicarse el edificio en el solar para maximizar su acceso al sol.
- Donde sea necesario controlar un régimen de vientos nocivo hay que utilizar la topografía y las barreras vegetales para desviar o reducir las corrientes de aire sin disminuir el acceso del sol. El viento se considera nocivo porque en invierno aumentan significativamente las pérdidas que se producen a través de las juntas de las aberturas.
- Si la zona urbana va a acoger diferentes usos, éstos deben ubicarse de la forma más adecuada.



Vivienda sostenible FUJY en Madrid.

Fuente: FUJY.

### 2.2.6. La urbanización, verificación urbana y zonas verdes

Se deben utilizar la urbanización y las zonas verdes tanto para el ahorro energético como para el control climático.

- Reducir el efecto isla calor en las áreas urbanas densas y con edificios altos, manteniendo los flujos naturales de aire frío o proveyéndolas de parques verdes que incluyan elementos de agua para contribuir a la refrigeración por evaporación.
  1. Utilizar árboles de hoja caduca y copa ancha para proteger las plantas inferiores de las viviendas en verano y permitir el acceso del sol en invierno.
  2. Utilización de pavimentos absorbentes del calor en los climas cálidos o muy expuestos.
  3. Incorporar sistemas de filtro verde o porosos en la urbanización, por sus condiciones de absorción de la radiación solar, su baja temperatura, su permeabilidad; en suma, para favorecer el comportamiento térmico del suelo.
  4. Utilizar el agua, en forma de fuentes o de láminas que faciliten la evaporación y la refrigeración del aire circulante.

- Es necesario que las fachadas principales con orientación de componente  $+90^\circ$  sur cuenten con arbolado de protección solar.
- Seleccionar las especies más apropiadas teniendo en cuenta su altura en su madurez, la forma de su copa y las variaciones estacionales que presentan su follaje y la densidad de sus ramas, (la penetración del sol en invierno puede variar desde el 20% al 85% entre sus especies y con oscilaciones del 20% dentro de la misma especie).
- Para ubicar árboles y plantas en la urbanización, hay que hacer un cálculo previo de las sombras que proyectarán.
- Control del viento, favorable o desfavorable desde la vegetación. Cuando sea necesaria la refrigeración hay que utilizar la topografía y la vegetación para canalizar el viento alrededor del edificio y asegurar así la ventilación natural.
- El planeamiento debe tener como objetivo la racionalización de la gestión de la energía consumida en la red de los espacios públicos.

1. Se incorporarán tecnologías encaminadas al ahorro energético en el alumbrado público.
2. Utilización de lámparas de vapor de sodio a alta presión en el alumbrado público donde no sea necesaria la luz blanca.
3. Utilización del nivel lumínico para la jerarquización de las vías.

### 2.3. Factores que influyen en el consumo de energía de los edificios

Los factores que tienen mayor influencia en el consumo de energía de los edificios se han agrupado de la forma siguiente:

- **Número de edificios:** debido a que un aumento en el número de edificios de viviendas y en el terciario tiene como consecuencia un mayor consumo global de energía.

En el sector doméstico la ralentización en el aumento de la población no se ha traducido en una estabilización del consumo de energía, ya que se ha producido un aumento del número de unidades familiares, pero con una reducción en el número de personas que las componen. Un mayor número de hogares se traduce en un aumento del consumo para



calefacción, dado que este está más ligado a la superficie de las viviendas, que al número de personas que las habitan, a diferencia de lo que ocurre con el consumo de agua caliente sanitaria.

- **El clima:** debido a que la temperatura exterior, la radiación solar, el número de horas de sol, etc. son factores que afectan a la demanda de energía de los edificios.

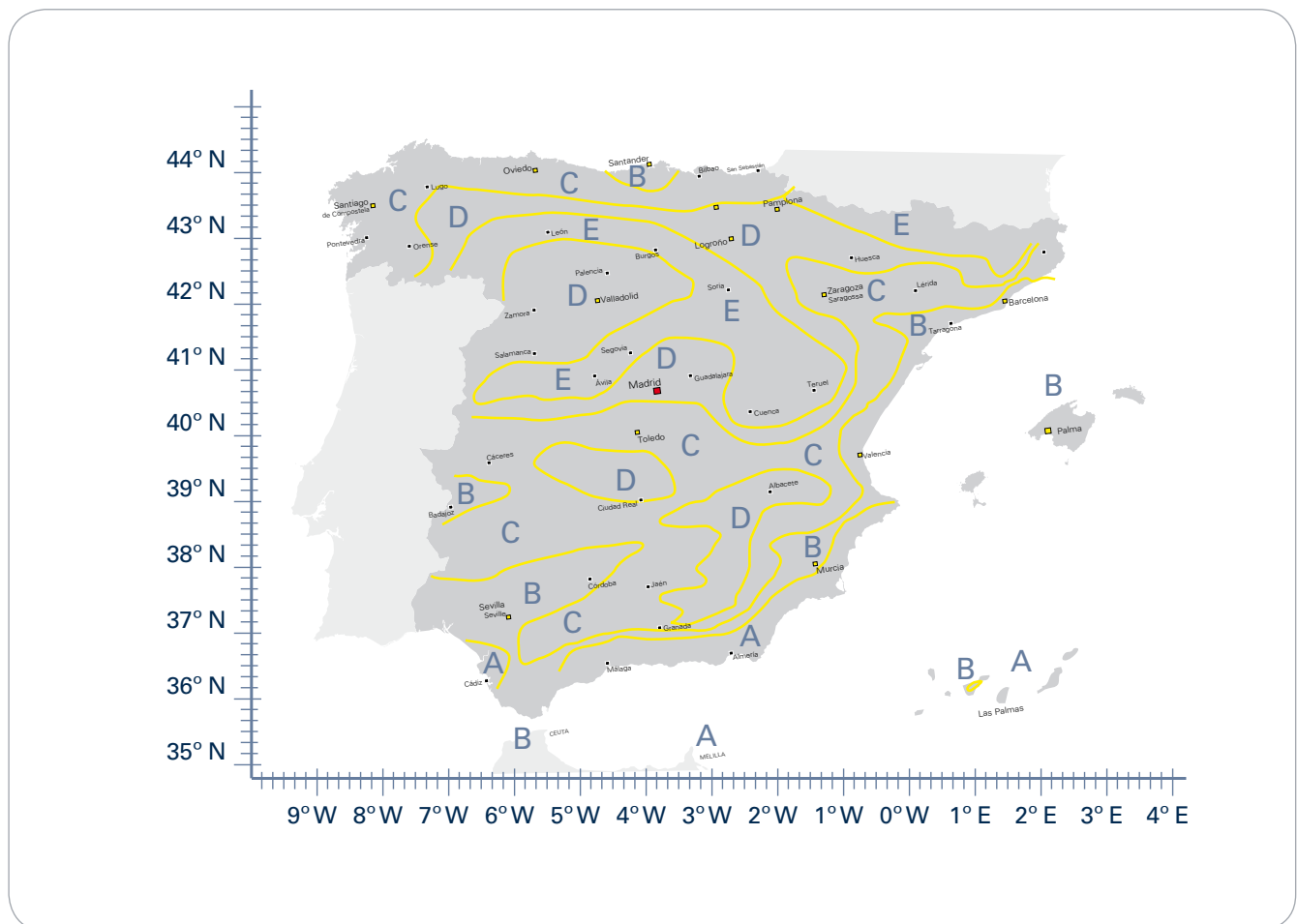
Las características climáticas que se encuentran en las distintas zonas de España son tan diversas que es obligado distinguirlas. Según el nuevo Código Técnico de Edificación (CTE) para la limitación de la demanda energética se establecen 12 zonas climáticas en función del rigor climático del invierno (A, B, C, D) y del verano (1, 2, 3, 4) de la localidad en cuestión. En general, la zona climática donde se ubican los edificios se determinará a partir de los valores tabulados. En localidades que no sean capitales de provincia y que dispongan de registros climáticos contrastados, se podrán emplear, previa justificación, zonas climáticas específicas.

- **La envolvente del edificio:** es decir, las características térmicas de los cerramientos que constituyen la capa envolvente del edificio, como son las fachadas, ventanas, cubierta y suelo.

- **Las condiciones de operación y funcionamiento del edificio:** se refiere al horario de funcionamiento, el número de ocupantes, la variabilidad de estos en el tiempo, hábitos de higiene, por ejemplo, en la demanda de agua caliente sanitaria; las condiciones de confort que hay que mantener en su interior, etc.

- **El rendimiento de las instalaciones térmicas y de la iluminación:** la mejora del nivel de vida en nuestro país ha favorecido la instalación de un mayor número de sistemas de calefacción y aire acondicionado, lo que se ha traducido también en un mayor consumo energético. El rendimiento medio estacional de estas instalaciones –que depende de los rendimientos parciales de los equipos y del sistema seleccionado en sí, junto con la fuente de energía utilizada– tiene influencia también en el consumo de energía.

FIGURA 7  
Distribución de las horas de funcionamiento de un motor de cogeneración en los días de primavera, otoño y verano.



### 3. Rendimiento energético en viviendas

#### 3.1. Eficiencia energética y sostenibilidad

Con el fin de garantizar la protección del medio ambiente, la Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación (LOE) establece como uno de los requisitos básicos de la edificación, que los edificios se proyecten de tal forma que no se deteriore el medio ambiente, así como el uso de un modo racional de la energía necesarios para el funcionamiento normal de dichos edificios, mediante el ahorro de ésta y el aislamiento térmico.

Al Ministerio de Vivienda le corresponde, entre otras funciones, el seguimiento de la Ley de Ordenación de la Edificación y el desarrollo de las actuaciones normativas relacionadas con la elaboración del Código Técnico de la Edificación (CTE), incluido el desarrollo de las exigencias básicas relativas al requisito básico de ahorro de energía y aislamiento térmico.

El cambio en el marco normativo producido por aprobación de la Directiva Europea 2002/91/CE sobre eficiencia energética en la edificación y su traslado a la legislación española, está haciendo aparecer nuevos requerimientos en el sector de la edificación en aquellos aspectos relativos al consumo de energía, iluminación, aislamiento, calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, certificación energética de edificios o utilización de la energía solar.

Actualmente son varios los documentos legales puestos en marcha por la Administración para dar respuesta a estos nuevos requerimientos:

- Código Técnico de Edificación.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).
- Actualización de la Normativa de Aislamiento Térmico NBE-CT-79.
- Certificación energética de edificios.
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética en España.

#### 3.2. Normativa energética en edificaciones

##### 3.2.1. RITE

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), establece las exigencias técnicas que deberá cumplir toda instalación de este tipo durante su diseño, cálculo, montaje, mantenimiento y uso, y estipula todos

los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento. El RITE ha sido modificado en varias ocasiones; las más importantes son las originadas por la entrada en vigor del Real Decreto 1218/2002 del 22 de noviembre en lo relativo a la composición, funciones y funcionamiento de la Comisión Asesora para las Instalaciones Térmicas en Edificios y a algunas de sus instrucciones técnicas complementarias, así como el nuevo CTE (Código Técnico de Edificaciones) que en su HE 2 (Rendimiento de las Instalaciones Térmicas), modifica y actualiza aspectos importantes del mismo.

La versión definitiva que se envió a Bruselas es del 31 de julio del 2006 y es ésta la que finalmente se aprobó el 20 de julio del año 2007 mediante el RD 1027/2007

##### 3.2.2. Directiva 2006/32/CE

Esta directiva trata sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y deroga la anterior directiva 93/76/CEE.

La finalidad de la presente directiva es fomentar la mejora rentable de la eficiencia del uso final de la energía en los estados miembros:

- Aportando los objetivos orientativos, así como los mecanismos, los incentivos y las normas generales institucionales, financieras y jurídicas necesarios para eliminar los obstáculos existentes en el mercado y los defectos que impidan el uso final eficiente de la energía.
- Creando las condiciones para el desarrollo y el fomento de un mercado de servicios energéticos y para la aportación de otras medidas de mejora de la eficiencia energética destinadas a los consumidores finales.

Una mayor eficiencia del uso final de la energía contribuirá también a disminuir el consumo de energía primaria, a reducir las emisiones del CO<sub>2</sub> y demás gases de efecto invernadero y con ello a prevenir los cambios climáticos peligrosos. Estas emisiones siguen aumentando, lo que dificulta cada vez más el cumplimiento de los compromisos de Kioto. Las actividades humanas relacionadas con el sector de la energía son responsables hasta del 78% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la Comunidad.

##### 3.2.3. LOE

Ley 38/1999, de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación (LOE). La Ley es el marco jurídico que tiene por objeto regular en sus aspectos esenciales el proceso de la edifica-

ción, y establece las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en dicho proceso, así como las garantías necesarias para su adecuado desarrollo, con el fin de asegurar la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de los edificios y la adecuada protección de los intereses de los usuarios.

Esta ley apareció por la necesidad de dar continuidad a la Ley 6/1998, de 13 de abril, sobre régimen de suelo y valoraciones, y pretende ordenar, por una parte, la construcción de los edificios, y de superar, por otra, la discrepancia existente entre la legislación vigente y la realidad, por la insuficiente regulación del proceso de edificación. Además pretende establecer el marco general en el que pueda fomentarse la calidad de los edificios y por último, tiene el compromiso de fijar las garantías suficientes a los usuarios frente a posibles daños.

La LOE establece algunos requisitos básicos relativos a la funcionalidad, seguridad y habitabilidad, que deben satisfacerse con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente.

Además de los requisitos básicos, aparecen también artículos relacionados con las licencias y autorizaciones administrativas, la recepción de la obra y su documentación, los agentes de la edificación y sus responsabilidades civiles.

Finalmente, en su Disposición Final Segunda, la LOE autoriza al Gobierno para la aprobación de un Código Técnico de la Edificación (CTE) que establezca las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

### 3.2.4. Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética en edificios

La Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios, tiene como objetivo fomentar la eficiencia energética en la edificación, y tiene en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos interiores y la relación coste-eficacia. Su transposición se hace entre otros mecanismos con las exigencias del CTE.

Antes de continuar definiremos algunos términos que aparecen en esta directiva y que son de gran importancia en el marco en el que nos encontramos:

- **Eficiencia energética de un edificio:** es la cantidad de energía consumida realmente o que se calcule necesaria, para satisfacer las distintas necesidades asociadas a un uso estándar del edificio, que podría incluir, entre otras cosas, la calefacción, el calentamiento del agua, la refrigeración, la ventilación y la iluminación.

Dicha magnitud, según la citada directiva, deberá quedar reflejada en uno o más indicadores cuantitativos calculados teniendo en cuenta el aislamiento, las características técnicas y de la instalación, el diseño y la orientación, y en relación con los aspectos climáticos, la exposición solar y la influencia de construcciones próximas, la generación de energía propia y otros factores, incluidas las condiciones ambientales interiores, que influyan en la demanda de energía.

- **Certificado de eficiencia energética de un edificio:** es un certificado reconocido por el estado miembro, o por una persona jurídica designada por él, que incluye la eficiencia energética de un edificio calculada con arreglo a una metodología determinada.

Esta directiva establece una serie de requisitos:

- A. Adoptar una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios. Esta metodología deberá integrar:
  1. Características térmicas del edificio: cerramientos exteriores e internos.
  2. Instalación de calefacción y de agua caliente y sus características de aislamiento.
  3. Instalación de aire acondicionado.
  4. Ventilación.
  5. Instalación de iluminación artificial.
  6. Disposición y orientación de los edificios, incluidas las condiciones climáticas interiores.
  7. Sistemas solares pasivos y protección solar.
  8. Ventilación natural.
  9. Condiciones ambientales interiores.
- B. Aplicación de unos requerimientos mínimos de eficiencia energética a los edificios nuevos, mientras que a los ya existentes también se les aplicará, siempre y cuando sean objeto de modificaciones importantes.
- C. Certificación energética de los edificios. Este certificado de eficiencia energética deberá incluir valores de referencia tales como la normativa vigente y valoraciones comparativas, con el fin de que los consumidores puedan comparar y evaluar la eficiencia energética del edificio. El certificado deberá ir acompañado de recomendaciones para la mejora de la relación coste-eficacia de la eficiencia energética.

- D. Inspecciones periódicas de calderas y sistemas de aire acondicionado con vistas a reducir el consumo de CO<sub>2</sub>.

Los estados miembros velarán para que, cuando los edificios sean construidos, vendidos o alquilados, el propietario ponga a disposición del posible comprador o inquilino, según corresponda, un certificado de eficiencia energética. La validez del certificado no excederá de diez años.

Para las viviendas o para los locales destinados a uso independiente situados en un mismo edificio, la certificación podrá basarse en una certificación única de todo el edificio, en el caso de aquellos que dispongan de un sistema de calefacción centralizado, o en la evaluación de una vivienda representativa del mismo edificio.

El certificado de eficiencia energética de un edificio deberá incluir valores de referencia tales como la normativa vigente y valoraciones comparativas, con el fin de que los consumidores puedan comparar y evaluar su eficiencia energética. El certificado deberá ir acompañado de recomendaciones para la mejora de la relación coste-eficacia de la eficiencia energética.

El objetivo de los certificados se limitará al suministro de información, y cualesquiera efectos de estos en acciones judiciales o de otro tipo se decidirán de conformidad con las normas nacionales.

### 3.2.5. RD 47/2007 sobre certificación energética de edificios de nueva construcción

Mediante este real decreto se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. A cada edificio se le asignará una clasificación energética de acuerdo con una escala de siete letras y siete colores, en la que se asignan la clase A para los edificios más eficientes y G para los menos eficientes.

Sobre este real decreto podemos decir:

- Es de obligada aplicación a partir del 19 de septiembre de 2007, y tuvo carácter voluntario hasta la fecha indicada.
- Es obligatorio para los edificios de nueva construcción y para los antiguos que afronten reformas con una superficie útil mayor o igual a 1.000 m<sup>2</sup> en los que se renueve más del 25% del total de sus cerramientos.
- Se excluyen los edificios o monumentos que estén protegidos, sean lugares de culto, los que por las características de su utilización deban permanecer abiertos, así como los industriales y agrícolas no residenciales.

- Es obligatorio poner a disposición de los compradores y usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética.

### 3.3. Calificación y certificación energética de edificios

La Directiva 2002/91/CE establece la obligatoriedad de proporcionar a compradores y usuarios de edificios un certificado de eficiencia energética.

La expresión del consumo de energía necesario para satisfacer la demanda energética de un edificio en condiciones normales de funcionamiento y ocupación es lo que se denomina calificación energética.

El proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación energética, obtenida por el proyecto y por el edificio una vez terminado con la consecuente expedición de certificados de eficiencia energética en ambos, es el certificado energético de un edificio.

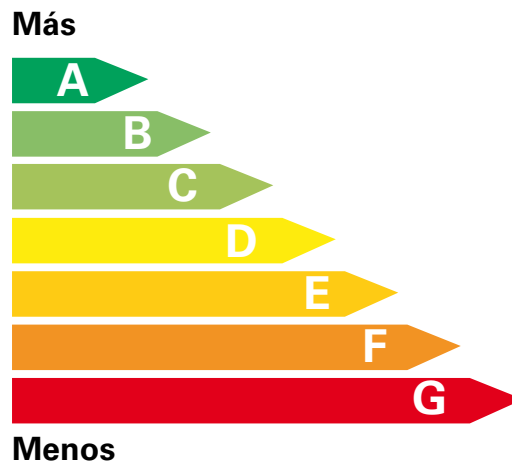
El certificado de eficiencia energética de edificios servirá para acreditar que en su diseño y construcción se han tenido en cuenta criterios orientados a lograr en ellos el máximo aprovechamiento de la energía.

El objetivo es limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> y fomentar el uso racional de la energía dentro del sector de la construcción, uno de los sectores más representativos en el consumo de energía, para así contribuir a la mejora del medio ambiente.

La certificación valora la eficiencia térmica de los edificios en dos aspectos: calefacción y producción de agua caliente. Para ello se tienen en cuenta, entre otros, aspectos como el grado de aislamiento del edificio o las instalaciones de producción de energía

La certificación energética de edificios permite:

- Dar a conocer al usuario las características energéticas de su edificio.
- Facturar los gastos de energía: calefacción, climatización y Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.), en función del consumo real, para así poder distribuir los costes de manera más equilibrada e individualizada.
- Permitir la inspección periódica de calderas.
- Realizar auditorías energéticas en edificios de alto consumo de energía.



Edificio: \_\_\_\_\_ Localidad/Zona climática: \_\_\_\_\_ Uso del Edificio: \_\_\_\_\_  
 Consumo energía Anual: \_\_\_\_ kWh/año Emisiones de CO<sup>2</sup> Anual: \_\_\_\_ kgCO<sub>2</sub>/año  
 ( \_\_\_\_ kWh/m<sup>2</sup>) ( \_\_\_\_ kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

El Consumo de Energía y sus Emisiones de Dióxido de Carbono son las obtenidas por el Programa \_\_, para unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

El Consumo real de Energía del Edificio y sus Emisiones de Dióxido de Carbono dependerán de las condiciones de operación y funcionamiento del edificio y de las condiciones climáticas, entre otros factores.

### Certificado Eficiencia Energética de Edificios.

- Controlar el aislamiento térmico en edificios de nueva construcción.
- Mejorar la eficiencia energética.
- Rentabilizar costes.
- Estudiar la viabilidad técnica de los proyectos.
- Mejorar el medioambiente.

Para determinar la eficiencia energética de un edificio podemos emplear dos opciones:

1. La opción simplificada, que es de carácter prescriptivo y desarrolla la metodología de cálculo de la calificación energética de una manera indirecta a partir del cumplimiento, por parte de los edificios afectados, de unas prescripciones relativas tanto a la envolvente del edificio como a los sistemas térmicos de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación.

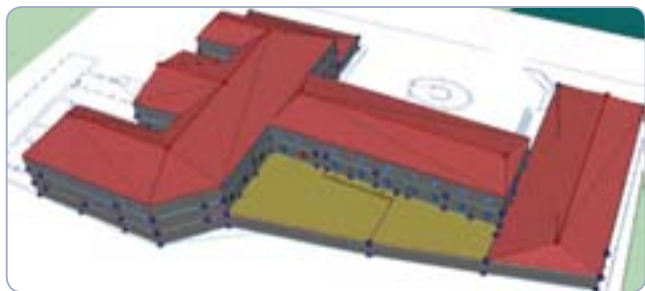
2. La opción general, de carácter prestacional, a través de un programa informático llamado CALENER, promovido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda.

Este programa cuenta con dos versiones:

- CALENER\_VYP, para edificios de viviendas y del pequeño y mediano terciario (equipos autónomos).
- CALENER\_GT, para grandes edificios del sector terciario

Tenemos que distinguir dos tipos de certificaciones, dependiendo si se trata de un proyecto o de un edificio terminado:

- A. Certificación de eficiencia energética del proyecto de un edificio. Es el proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto del edificio y que conduce a la expedición del certificado correspondiente.



Edificio en LIDER-CALENER.

Será suscrito por el proyectista del edificio o del proyecto parcial de sus instalaciones térmicas, tendrá carácter provisional y quedará incorporado al proyecto de ejecución.

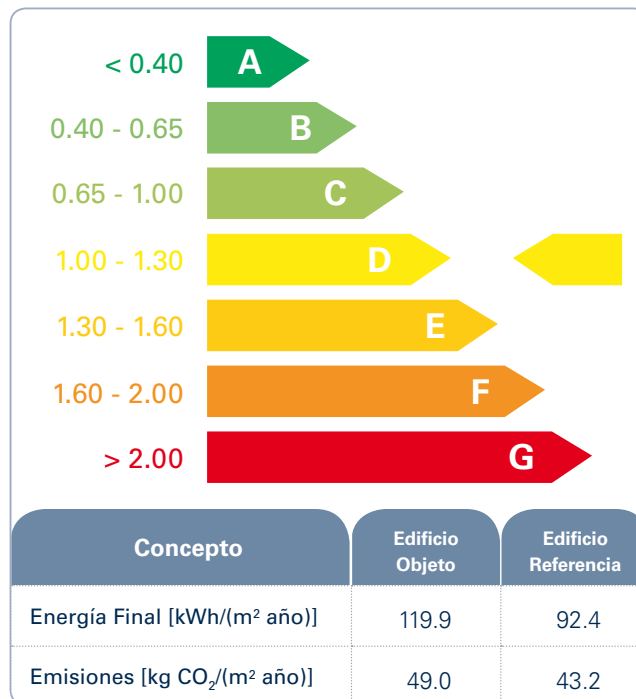
Este certificado contendrá como mínimo la siguiente información:

1. Identificación del edificio.
  2. Normativa energética de aplicación en el momento de su construcción.
  3. Indicación de la opción elegida para realizar la calificación y del programa utilizado.
  4. Descripción de las características energéticas del edificio, envolvente, instalaciones, condiciones de funcionamiento, etc.
  5. Calificación energética que, mediante una etiqueta de eficiencia energética, se asignará a cada edificio una clase energética de eficiencia, que variará desde la clase A, para los energéticamente más eficientes, a la clase G, para los menos eficientes.
- B. Certificado de eficiencia energética del edificio terminado. Será suscrito por la dirección facultativa de la obra, y quedará claramente reflejado que el edificio ha sido ejecutado de acuerdo con lo expresado en el proyecto y en consecuencia alcanza la calificación indicada en el certificado correspondiente a éste.

Debe ser presentado por el promotor o propietario, en su caso, al órgano competente de la comunidad autónoma y se incorporará al libro del edificio.

El control podrá ser realizado por la propia Administración o mediante la colaboración de agentes autorizados para este fin que podrán ser organismos o entidades de control acreditadas y técnicos independientes cualificados conforme al

FIGURA 2  
Resultados del informe de CALENER.



procedimiento que establezca el órgano competente de la comunidad autónoma.

El certificado de eficiencia energética tendrá una validez máxima de diez años.

La obtención del certificado otorgará el derecho a utilizar la etiqueta de eficiencia energética en la que quedará reflejada la calificación obtenida por el edificio, así como otros de sus datos relevantes.

Esta etiqueta debe ser incluida siempre en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del edificio y debe ser exhibida en los edificios ocupados por la administración o instituciones que presten servicio público, siempre que estos tengan una superficie útil total superior a 1.000 m² y sean frecuentemente utilizados.

#### 4. El Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la disposición adicional segunda de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edifica-

TABLA 1  
Resumen Indicadores Energéticos.

Indicador Energético	Edif. Objeto	Edif. Referencia	Índice	Calificación
Demanda Calefacción (kW-h)	207.112,6	67.093,4	3,09	G
Demanda Refrigeración (kW-h)	242.770,8	390.937,2	0,62	B
Emisiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> )	233.563,8	152.130,1	1,54	E
Emisiones A.C.S. (kg CO <sub>2</sub> )	24.520,0	39.010,1	0,63	B
Emisiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> )	66.579,6	95.095,8	0,70	C
<b>Emisiones Totales (kg CO<sub>2</sub>)</b>	<b>324.663,4</b>	<b>286236,0</b>	<b>1,13</b>	<b>D</b>

ción, en adelante LOE. Esta ley, establece por medio del marco normativo del Código Técnico de la Edificación (CTE), tres bloques de exigencias básicas referidas a la funcionalidad, la seguridad y la habitabilidad de las edificaciones.

El código se organiza en dos partes de carácter reglamentario:

- La parte I determina el contenido, objeto y ámbito de aplicación del CTE y las exigencias básicas que deben cumplir los edificios. Estas exigencias básicas deben satisfacerse en el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la conservación de los edificios y sus instalaciones para alcanzar las prestaciones que satisfagan los requisitos básicos de la LOE.
- La parte II la conforman los denominados Documentos Básicos (DB), en los que se describen las actuaciones para el cumplimiento de las exigencias básicas de la parte I del CTE. Los DB, basados en el conocimiento consolidado de las distintas técnicas constructivas, pueden ser actualizados en función de los avances técnicos y las demandas sociales y se aprobarán reglamentariamente.

Los DB son los siguientes:

- DB SE Seguridad estructural.
- DB SE-AE Acciones en la edificación.
- DB SE-A Estructuras de acero.
- DB SE-F Estructuras de fábrica.

- DB SE-M Estructuras de madera.
- DB SE-C Cimentaciones.
- DB SI Seguridad en caso de incendio.
- DB SU Seguridad de utilización.
- DB HS Salubridad.
- DB HE Ahorro de energía.
- DB HR Protección frente al ruido (será publicado en un medio plazo).

Dentro del apartado de habitabilidad el Código Técnico de la Edificación incluye el documento básico DB HE Energía, donde se establecen las exigencias en eficiencia energética y energías renovables que deberán cumplir los nuevos edificios y los que sufran cualquier clase de rehabilitación. Dichas exigencias básicas son:

- **HE1:** Limitación de la demanda energética.
- **HE2:** Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- **HE3:** Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- **HE4:** Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- **HE5:** Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

#### 4.1. HE1: Limitación de la demanda energética

Se dotará a los edificios de una envolvente exterior que resulte adecuada en relación a las exigencias necesarias para alcanzar el confort térmico en su interior, que tenga en cuenta condiciones climáticas, estacionales o de uso. Se estudiarán las características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, se reducirá el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales y con un correcto tratamiento de los puentes térmicos que limitarán las pérdidas y ganancias de calor con el objeto de evitar problemas higrotérmicos.

Para conseguir este objetivo se ha procedido a una actualización de la normativa de aislamiento térmico NBE-CT-79, encuadrada dentro del CTE. Esta exigencia básica está planteada con un doble enfoque, la denominada opción prescriptiva o método simplificado de aplicación manual y la opción prestacional o método general que se implementa a través de un programa informático denominado LIDER. Esta última opción constituye el enfoque por objetivos que se postula como filosofía global del código técnico.

Opción Simplificada: es de estructura muy parecida a la NBE-CT-79 al estar basada en limitaciones impuestas sobre los coeficientes de transferencia de los distintos componentes de la envolvente del edificio (fachadas, suelos, cubiertas y ventanas), aunque no impone límite alguno sobre el coeficiente global de transferencia del edificio al entorno y no introduce ninguna discriminación por compactidad del edificio en los límites impuestos.

Esta opción proporciona unos valores límite (Ulim), para la transferencia de muros, suelos, cubiertas y huecos, así como para los valores del factor solar modificado en la temporada de refrigeración (FH,lim). La comprobación del cumplimiento con la opción simplificada consiste en verificar que los valores promedio en áreas de las transferencias de muros, suelos, cubiertas y huecos, así como el factor solar modificado son menores que los anteriormente mencionados valores límite.

Opción General: es el proyecto que ha sido presentado a la UE y por tanto el que se implementará, mantenida la misma filosofía general del primero, si bien con pequeños cambios y la información estructurada de distinta forma. Se ha creado una herramienta informática para esta opción (programa LIDER), y parte de la información que aparecía antes en el borrador de CTE está ahora encapsulada en esta herramienta informática.

Los requisitos de ahorro de energía del CTE separan la demanda de energía del edificio (HE1) y el rendimiento de las instalaciones térmicas (HE2); éste último queda regulado por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Bajo la filosofía de la Directiva 2002/91/CE subyace la necesidad de analizar conjuntamente el sistema de climatización y el edificio

sobre el que se actúa, pues las actuaciones del sistema global y por tanto el consumo de energía dependen del acoplamiento dinámico entre ambos subsistemas.

De esta forma el programa LIDER para implementar la opción general evalúa sólo la demanda energética del edificio, sin opción de incorporar los equipos de climatización en la simulación. Por otro lado, para la certificación energética de viviendas, CALENER, el programa propuesto, sí que incorpora los equipos de climatización además del edificio en la simulación, si bien no lo hace de forma acoplada para retener sus interacciones mutuas, sino de forma secuencial (primero edificio y después equipos).

#### 4.2. HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas

Se procede a la modificación del RITE incorporando cuestiones fundamentales como el cálculo obligatorio de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de cada proyecto de más de 70 kW, nuevo tratamiento de las ventilaciones, opciones de dimensionado prescriptivo o prestacional, etc.

#### 4.3. HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Se establecen los requisitos básicos por zonas y se determinará la eficiencia energética de las instalaciones mediante el Valor de la Eficiencia Energética (VEE) que no deberá superar unos determinados límites según el número de luxes y que tendrá en cuenta el factor de mantenimiento de la instalación.

Se plantea la obligatoriedad de instalar mecanismos de regulación y control manuales y de sensores de detección de presencia o sistemas de temporización para zonas de uso esporádico. El nivel de iluminación interior será regulado en función del aporte de luz natural exterior. Asimismo, será necesario elaborar un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación para asegurar su eficiencia.

#### 4.4. HE4: Contribución solar térmica mínima de agua caliente sanitaria

Dependiendo de la zona climática en que se localice el edificio y su consumo anual, se fija una contribución o aporte solar mínimo anual entre el 30% y el 70%. Se han definido cinco zonas climáticas en España y se tienen en cuenta la ocupación, interferencias sombras, etc. Se deberán aportar análisis de las posibles alternativas de ubicación de los edificios y se optará por aquella que contribuya al máximo de aportación solar.



#### 4.5. HE5: Contribución solar fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Aplicable a edificaciones con elevado consumo eléctrico y gran superficie, determinada según el uso específico, como edificios comerciales, oficinas, hospitales, hoteles, etc. Se tienen en cuenta interferencias sombras, etc.

Se deberán aportar análisis de las posibles alternativas de ubicación de los edificios y se optará por aquella que contribuya a la máxima producción según la contribución solar.

### 5. Consecuencias de la aplicación de la nueva normativa

El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) (de obligado cumplimiento a partir del 29 de marzo de 2007), afecta tanto a los nuevos edificios como a los que sufran próximas rehabilitaciones. Sus objetivos básicos son mejorar la habitabilidad, la seguridad y la sostenibilidad en las nuevas construcciones, y establece unos mínimos que deben ser cubiertos y garantizados.

Su aplicación repercutirá principalmente sobre el ahorro de energía en las nuevas edificaciones. Las repercusiones más llamativas de dicha aplicación son:

- Se incrementan los niveles de aislamiento (un 70% en cubiertas y un 40% en fachadas).
- Se aíslan y tratan las superficies acristaladas, sobre todo las orientadas hacia el sur.
- Los forjados sanitarios refuerzan su aislamiento con láminas impermeabilizantes, aislamientos que dependen de la permeabilidad del terreno y el tipo de solera empleados.
- La utilización de energía solar térmica para la generación de agua caliente sanitaria se hace obligatoria, y establecen unas capacidades mínimas de generación que dependen de la zona de España en la que se encuentre el edificio.
- Para determinadas instalaciones y edificios, establece que deben tener una contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.
- Incrementa la calidad del aire interior aumentando el número de renovaciones hora y estableciendo ventilación forzada. Este último punto entra en contradicción con la filosofía de ahorro energético predominante en el código.

- Se incorporan nuevas medidas de seguridad en relación con la prevención de incendios.
- Se mejora y optimiza la iluminación interior de cualquier espacio.
- Se regulan las emisiones de gases.
- Establece una serie de normas dirigidas a mejorar la salubridad del edificio, disminuye los posibles problemas de humedad causados por un mal diseño constructivo de este.

Según el Ministerio de la Vivienda, la implantación de todas estas medidas que incluye el CTE supondrá un ahorro energético por edificio de entre el 30% y el 40%, y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de entre el 40% y el 55%.

Por el contrario, esto traerá consigo un encarecimiento de todas las edificaciones que supondrán para el usuario un aumento del coste de las viviendas de entre un 3% y un 5%.

Con la entrada en vigor el 19 de septiembre de 2007 ya es obligatorio estar en posesión de la etiqueta de calificación energética para el caso de viviendas nuevas o cuando se realice un traspaso o cambio de negocio (en el caso de edificios viejos). Con ella se certificará y garantizará el estado en que se encuentra la edificación, aunque nuevamente incrementará el coste del producto final.

### 6. Climatización eficiente

#### 6.1. Situación de partida

El consumo medio por hogar en España, expresado en tep/hogar, ha crecido durante la década de los ochenta y noventa y ha pasado de 0,54 tep/hogar a 0,74 tep/hogar. Una de las razones de este crecimiento ha sido el proceso de equipamiento de los hogares españoles, principalmente en electrodomésticos, pequeños equipos de aire acondicionado y mejores dotaciones en instalaciones térmicas de calefacción y agua caliente sanitaria.

La tendencia en los últimos años evidencia un crecimiento del número de viviendas con calefacción. El 10% de las viviendas disponen de un sistema de calefacción centralizado colectivo, el 32% individual, el 49% con aparatos (estufas, radiadores, etc), y el 9% no tienen calefacción.

Si se tiene en cuenta que estos datos son del año 2002 (el último del que se disponen de datos) y la tendencia ha seguido aumentando desde entonces, podemos hacernos

una idea de la creciente preocupación y el deseo de invertir dicha tendencia. Una de las medidas para lograrlo ha sido la aprobación del nuevo Código Técnico de la Edificación del que ya hemos hablado.

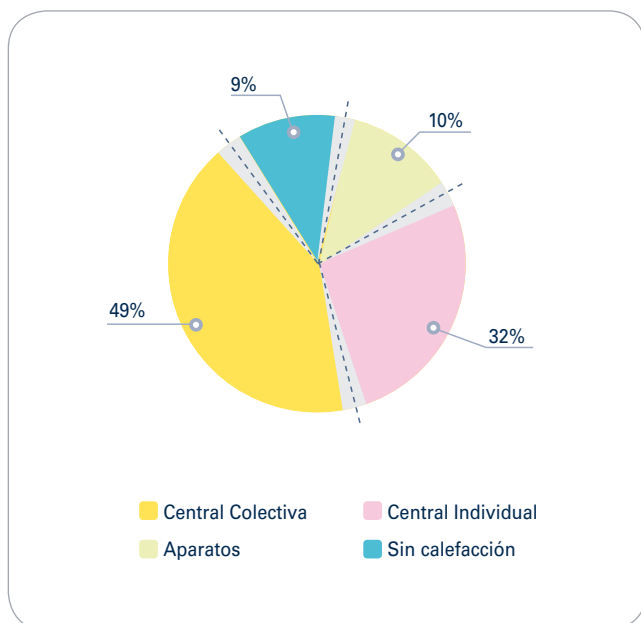
## 6.2. Sistema de climatización

El acondicionamiento de aire o climatización tiene como función principal la generación y el mantenimiento de un adecuado nivel de confort para los ocupantes de un ambiente cerrado o bien la garantía del mantenimiento de un conjunto de condiciones ambientales para el desarrollo de un proceso o actividad ambiental dentro de un recinto.

Acondicionar el aire implica controlar una serie de variables físicas en el interior del local, como son la temperatura seca, la humedad y calidad del aire, factores básicos en el control del confort térmico. En este sentido, es importante hacer notar que cuando calefactamos o refrigeramos un local no estamos controlando necesariamente factores como la humedad, sino que aportamos calor o frío, es decir, estamos actuando sobre su temperatura seca, sin tener un control real sobre las variaciones causadas en la humedad del ambiente.

Hoy en día no hay que olvidar que los tres ejes principales que rigen la evolución de la climatización son: la calidad del aire interior (I.A.Q.), el consumo energético y el impacto medioambiental.

FIGURA 3  
Porcentaje de viviendas según tipo de calefacción.



Fuente: IDAE.

En función del fluido encargado de compensar la carga térmica en el recinto que se va a climatizar podemos diferenciar los siguientes sistemas:

- **Sistemas todo aire.** El aire es utilizado para compensar las cargas térmicas en el recinto que se quiere climatizar, controlando además la humedad ambiente y la limpieza del aire (renovaciones hora), sin existir ningún tratamiento posterior.

Las unidades centralizadas son climatizadores que se encargan de enfriar o calentar, deshumidificar o humidificar y limpiar el aire. Estas unidades climatizadoras pueden ser del tipo expansión directa, como parte de una unidad autónoma compacta o partida, o bien un climatizador de agua (UTA), en cuyo caso precisará de unidades enfriadoras de agua o calderas.

Las unidades terminales que utiliza este sistema son, bien unidades de difusión (difusores y rejillas de todo tipo), o unidades de control de la cantidad de aire a suministrar a cada local (cajas de compuertas o elementos de similar función).

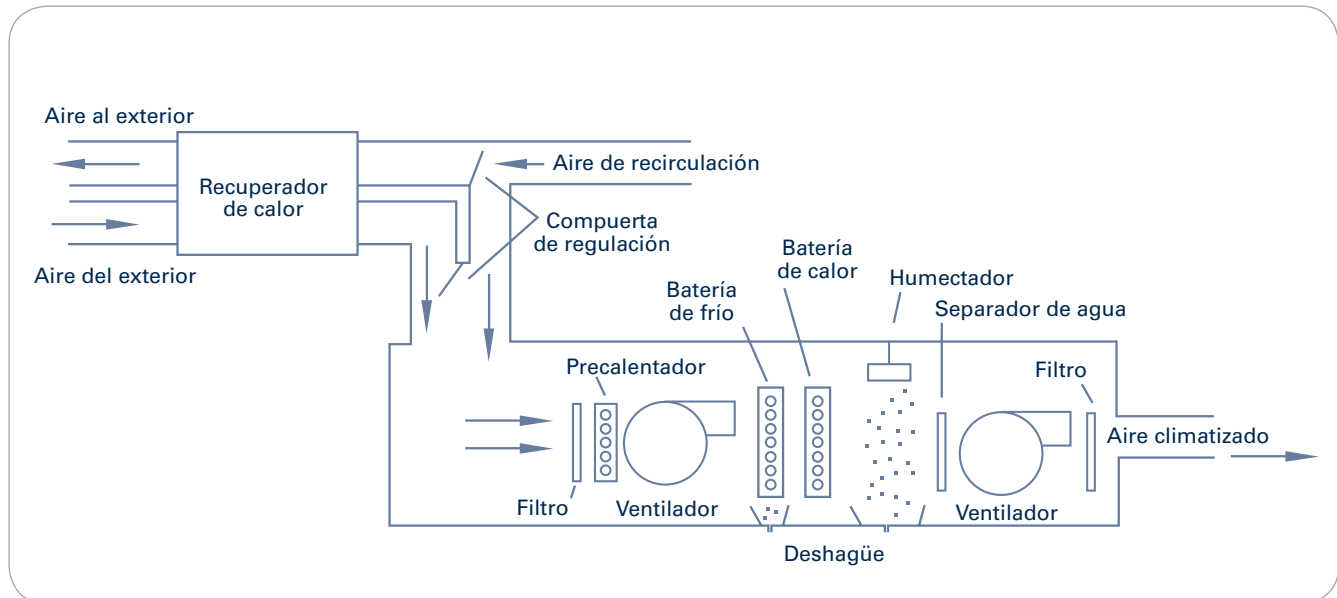
- **Sistema todo agua.** Son aquellos en que el agua es el agente que se ocupa de compensar las cargas térmicas del recinto acondicionado (aunque también puede tener aire exterior para la renovación). Aquí podemos encontrar las instalaciones de calefacción con radiadores o con suelo radiante.
- **Sistema aire-agua.** Se trata de sistemas a los que llega tanto agua como aire para compensar las cargas del local. Un ejemplo de este tipo de instalaciones son los fan-coils. En ellos, aire (normalmente procedente de la misma habitación que se desea climatizar) se hace pasar a través de una batería de frío o de calor.

El aire (normalmente procedente de la misma habitación que se va a climatizar) se hace pasar a través de una batería de frío o de calor.

- **Sistemas todo refrigerante o de expansión directa.** Se trata de instalaciones en las que el fluido que se encarga de compensar las cargas térmicas del local es el refrigerante. Dentro de estos sistemas podemos englobar los pequeños equipos autónomos (split y multisplit). Su regulación puede ser todo o nada o los sistemas de refrigerante variable mediante inverter.

Los split son muy utilizados en el ámbito doméstico y tienen múltiples configuraciones. Constan de una unidad normalmente exterior donde se sitúan el condensador y el compresor y otra situada en el local que se va a climatizar (el evaporador).

FIGURA 4  
Sistema todo aire.



**Multisplits (VRV o CRV).** Una unidad condensadora sirve para varios evaporadores (alguna puede preparar el aire primario de evaporación).

### 6.3 .Climatización y refrigeración de viviendas

En este punto se tratarán los equipos más utilizados hoy en día en los hogares, aunque sin olvidar otras posibles ubicaciones.

Para climatizar edificios de mayor tamaño pertenecientes al sector servicios, como pueden ser edificios públicos, universidades, hospitales, etc., en la mayoría de los casos se utilizarán soluciones más acordes con los grandes espacios presentes en ellos. Así por ejemplo, en universidades y edificios con grandes espacios para climatizar, se suelen adoptar equipos de climatización tipo UTA (unidad de tratamiento de aire). Estos equipos son costosos, precisan grandes conductos en los falsos techos y necesitan de centrales de producción tanto de frío, como de calor, pero por el contrario proporcionan las mejores calidades de aire interior, permiten la posibilidad de enfriamiento gratuito y la recuperación de calor.

#### 6.3.1. Calefacción

En la actualidad los sistemas de calefacción que más se están instalando en las viviendas son de gas individual. Este no es un buen sistema si lo comparamos con uno centralizado (ya sea para uno o varios edificios de viviendas), que es más barato y más eficiente desde el punto de vista energé-

tico. Esto es así debido a que las calderas grandes tienen un rendimiento mayor a la vez que al ser el volumen de compras de combustible superior, permite acceder a tarifas más económicas.

Hay que velar por el cuidado y el mantenimiento de las calderas ya que una caldera sucia consume hasta un 15% más de energía debido a una mala combustión. De igual forma se deben purgar los radiadores para eliminar el aire presente en ellos que dificulta la transmisión del calor del agua que contienen al exterior.

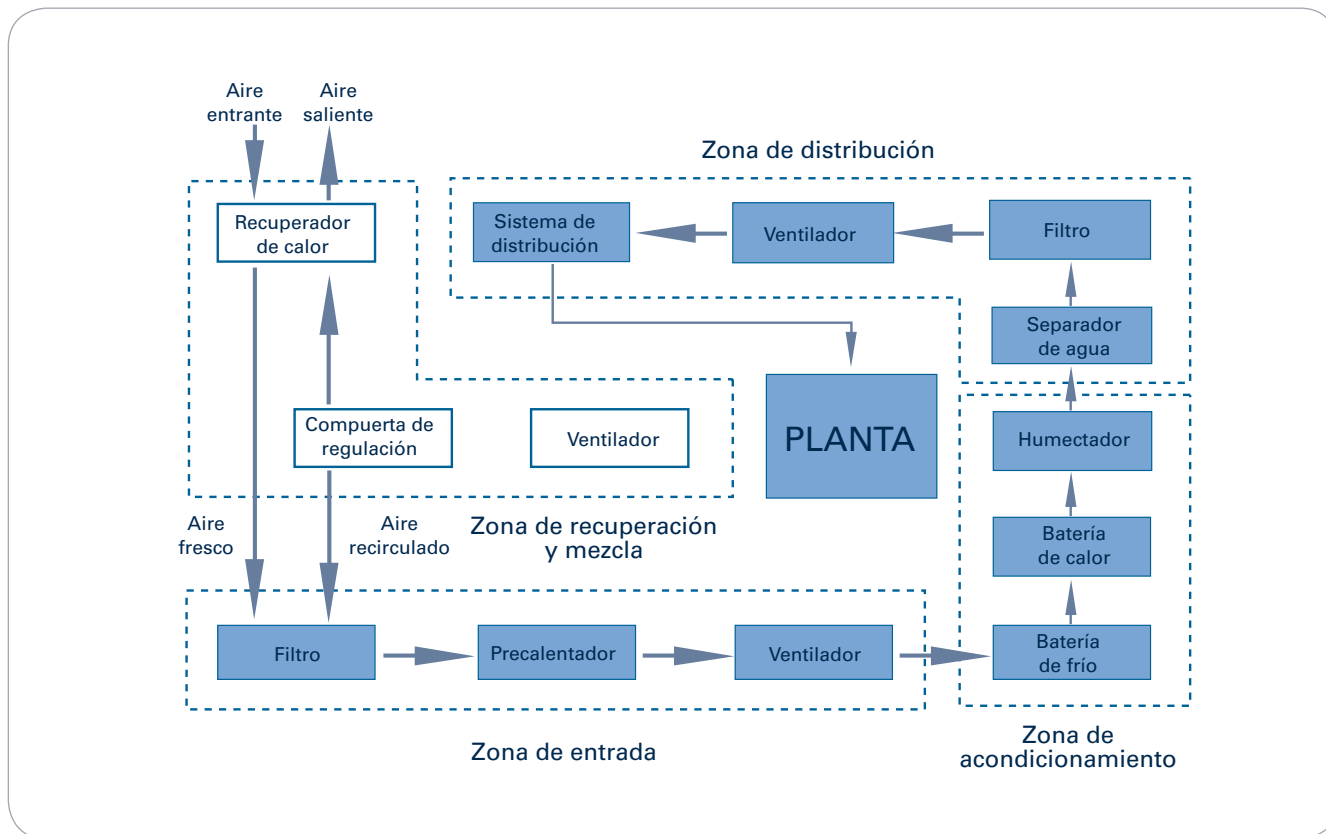
En cuanto al tipo de calderas, las más eficientes son las de baja temperatura y más aún las de condensación, ya que ahorran hasta un 25% de energía respecto a las convencionales.

Un sistema que en la actualidad se está adoptando en muchas viviendas es el de calefacción por suelo radiante. Es un sistema todo agua en el que sustituimos los radiadores por serpentines de tuberías que discurren empotrados, por suelos o techos, y consiguen, de esta manera, gran superficie de calor radiante.

Al calentarse el suelo todo por igual anula los efectos de pared fría y consigue una calefacción suave y uniforme, que proporciona mayor confort y bienestar, ya que el aire no pierde su humedad y no se reseca el ambiente.

El ahorro de la utilización de este sistema frente a los tradicionales se puede calcular entre un 10% y un 30%, aunque supone una instalación más costosa.

FIGURA 5  
Esquema de una Unidad de Tratamiento de Aire.



Otros sistemas de calefacción, como el eléctrico (mediante resistencias) no son eficientes energéticamente hablando y sólo son recomendables los de bomba de calor (expansión directa).

Las temperaturas de consigna tanto para la calefacción como para la refrigeración son muy importantes en el gasto energético de una vivienda. Así el nuevo RITE establece que las temperaturas en invierno no deben exceder los 21 °C durante el día (17 °C durante la noche). En verano la temperatura deberá estar por debajo de 25 °C.

### 6.3.2. Aire acondicionado

En cuanto a equipos de aire acondicionado, los más utilizados en las viviendas son del tipo expansión directa o todo refrigerante, debido a su menor coste y a su facilidad de instalación.

Se calcula que el gasto de electricidad debido a los equipos de aire acondicionado supone un 11,1% del total nacional. Aunque éste no es un porcentaje muy elevado, se prevé que el número de viviendas dotadas de aire acondicionado crezca exponencialmente.

Este aumento hace necesario establecer criterios de eficiencia energética para estos sistemas. En este sentido algunos consejos para un menor consumo de energías son:

- Establecer como temperatura de consigna 25 °C.
- Utilizar equipos con un etiquetado de eficiencia energética de clase A.
- Colocar las unidades condensadoras (las exteriores) en zonas en las que les dé el sol lo menos posible y cuando no haya más remedio, cubrirlas con toldos o marquesinas

### 6.4 .Ventilación

La calidad del aire interior (Indoor Air Quality, IAQ), es una exigencia de salubridad de la que se tiene que encargar la instalación de la climatización en un edificio. La renovación del aire en el interior se consigue introduciendo una cierta cantidad de aires fresco procedente del exterior, que combinado con la extracción del aire interior viciado, cuando es necesario, se encarga de eliminar o diluir los olores y humos que se generan en el interior por la propia actividad humana,

u otras actividades que se estén llevando a cabo. La renovación de aire se encarga también de proporcionar el oxígeno necesario por el propio consumo de este, debido a la respiración de los ocupantes.

La ventilación de cualquier vivienda o local está perfectamente regulada mediante el CTE en su documento básico HS 3 sobre calidad del aire interior.

Así, por ejemplo, para el caso de las viviendas éste dice que:

- El aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los primeros (comedores, dormitorios, salas de estar), deben disponer de aberturas de admisión, mientras que los segundos (aseos, cocinas, cuartos de baño) deben disponer de aberturas de extracción. Las particiones situadas entre ambos locales deberán poseer aberturas de paso.
- Las cocinas, dormitorios y salas de estar deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural (ventana o puerta exterior).
- Las cocinas, además, deberán poseer un sistema adicional con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Esto lo harán mediante un conducto extractor independiente de los anteriores.

Los caudales de ventilación mínimos según el tipo de locales vendrán dados según la siguiente tabla:

TABLA 2  
Caudales de ventilación mínimos.

	Caudal de ventilación mínimo exigido Qv en l/s			
	Por ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros	
<b>LOCALES</b>	Dormitorios	5	-	
	Sala de estar y comedores	3	-	
	Aseos y cuartos de baño	-	-	15 por local
	Cocinas	-	2	50 por local
	Trasteros y sus zonas comunes	-	0,7	-
	Aparcamientos y garajes	-	-	120 por plaza
	Almacenes y residuos	-	10	-

Los sistemas de climatización que pueden resolver de una forma más sencilla la renovación de aire, y a un coste económico y técnico más bajo, son sistemas todo aire. Estos sistemas sólo se suelen poner en grandes edificios con espacios interiores de tamaño considerable.

Para el caso de viviendas y pequeños locales se suelen utilizar sistemas todo agua o de expansión directa. Estos últimos cuentan con algunos equipos en los que se puede poner una toma de aire exterior (en la unidad interior), aunque puede tener problemas para el filtrado del aire del propio local que se va a acondicionar, debido a que sus propios terminales disponen de un filtro muy sencillo e insuficiente.

Para el caso de sistemas todo agua, la ventilación requerirá de un sistema independiente con un pretratamiento del aire primario.

En todo caso hay que decir que si hablamos de eficiencia energética, el DB HS 3 sobre ventilación entra en contradicción con los criterios de ahorro energético, ya que obliga a introducir aire del exterior que cuesta climatizar.

## 6.5. Mejora y optimización de la eficiencia energética de los equipos

Existen vías diferentes para conseguir un ahorro de energía en los edificios:

1. Disminuir la demanda de energía en los edificios.
2. Sustituir las fuentes de energía convencionales por energías renovables (solar térmica, fotovoltaica, biomasa o geotérmica).
3. Utilizar sistemas y equipos térmicos más eficientes.
4. La recuperación de energía residual y el enfriamiento gratuito.

Para ahorrar energía y optimizar el funcionamiento de nuestras instalaciones habrá que adecuar la producción que tengamos a la demanda (mediante una buena regulación y fraccionamiento de la potencia), así como los tiempos de funcionamiento de nuestros sistemas de climatización a las necesidades reales que tengamos.

Tanto el RITE como el CTE exigen la utilización de fuentes de energía renovables para determinados usos, como, por ejemplo, en piscinas o para el caso del Agua Caliente Sanitaria (A.C.S) en viviendas, y seremos más o menos restrictivos dependiendo de la zona climática donde se ubique la edificación.

La utilización de equipos más eficientes como quemadores modulantes en calderas, bombas de frecuencia variable o calderas de condensación, contribuyen en gran medida a aumentar la eficiencia de nuestra instalación, aunque suelen ser soluciones con un coste económico elevado.

Los sistemas free-cooling son dispositivos que se integran dentro de las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs). Cuentan con tres puertas de aire colocadas de tal manera que cuando la temperatura o entalpía exterior (dependiendo de si son por temperatura o entálpicas) es menor que la interior del local, se toma este aire frío para refrigerar el local, con el consiguiente ahorro de energía.

Los recuperadores de energía son dispositivos que permiten reutilizar el calor residual de un sistema, cuyo objetivo final es alcanzar la eficiencia máxima de la instalación. Así, si recuperamos parte de la energía del aire de retorno que vamos a expulsar al exterior y la empleamos para el precalentamiento del aire exterior que lo sustituya, estaremos cumpliendo dichos objetivos.

El RITE obliga a utilizar sistemas de enfriamiento gratuito por aire exterior en todos los subsistemas de climatización de edificios en los que la potencia térmica nominal sea mayor de 70 kW en régimen de refrigeración. Para el caso de recuperadores de calor, es obligatorio el uso de éstos cuando los caudales de aire expulsado al exterior por medios mecánicos sean superiores a 0,5 m<sup>3</sup>/s.

## 7. Aprovechamiento de la luz natural. Alumbrado artificial

### 7.1. Empleo y aprovechamiento de la iluminación natural

Las ventanas y los sistemas de iluminación con luz natural influyen no sólo en la distribución de este, sino también en la carga térmica de un edificio. La utilización de la luz natural como sistema de iluminación puede ayudar a reducir las aportaciones caloríficas del edificio debido a la favorable relación lúmenes por vatio de la luz natural y, por tanto, a ahorrar energía de refrigeración. El control de alumbrado en respuesta a la luz natural se combina a menudo con el control térmico. Cuando no hay ocupantes en una sala, el control térmico reducirá las ganancias caloríficas en verano cerrando los apantallamientos durante el día para mantener fuera el calor y abriendo las pantallas o cortinas durante la noche para enfriar por radiación. Esta actuación puede invertirse en invierno.

El principal elemento para el aprovechamiento de la luz natural es la ventana. Tanto la forma de esta, como su posición dentro de los espacios que se quiere iluminar y su orientación y tamaño influyen en gran medida en la calidad de la luz que aportan.

Así, cuanto más alta esté situada la ventana, mayor penetración tendrá la luz solar. Si está centrada, la distribución interior de la luz será mejor, aunque causará mayor deslumbramiento. Su forma influirá en gran medida en la distribución de la luz dentro del espacio, la calidad de esta y en su capacidad para ser utilizada como medio de ventilación natural.

Las ventanas orientadas al sur proporcionan niveles luminosos elevados y prácticamente constantes, gran ganancia de energía en invierno y media en verano. Si lo están al este y al oeste los niveles de iluminación son medios y variables a lo largo del día con gran ganancia de energía en verano y baja en invierno. La orientación norte proporciona los niveles luminosos más bajos, aunque constantes a lo largo del día, con una escasa ganancia de energía.

La luz natural que penetra a través de las ventanas puede crear una variación agradable en el alumbrado y facilitar un modelado y una distribución de luminancias específicas en el interior. Todo ello contribuye a un sentimiento general de satisfacción visual experimentada por los usuarios del edificio, siempre y cuando no exista deslumbramiento por parte del sol. Este deslumbramiento puede evitarse mediante la instalación de persianas, rejillas o mamparas, o elevando el nivel del alumbrado eléctrico en la zona adyacente a la luz natural con objeto de compensar la alta luminancia de las ventanas.

El Código Técnico de la Edificación hace obligatorio el aprovechamiento de la luz natural, mediante la instalación y utilización de sistemas de control y regulación, en aquellas zonas en las que la aportación de luz natural así lo permita. Por esta razón, lo que antes era exclusivamente una elección del proyectista es ahora obligación normativa.

### 7.2 . Alumbrado artificial

En España la iluminación representa el 17% del gasto total de energía eléctrica consumida. La obtención de esta energía genera el 6% de los gases de tipo invernadero y lanza a la atmósfera un total de 17,7 Mt de CO<sub>2</sub>.

La iluminación en los subsectores de comercio y de servicios, seguidos por el Residencial y el alumbrado público son los que tienen mayor repercusión en el consumo.

Existe un etiquetado obligatorio que nos informa de la eficiencia energética según el tipo de lámparas, que las clasifica en siete tipos desde la A (más eficiente) a la G (la menos).

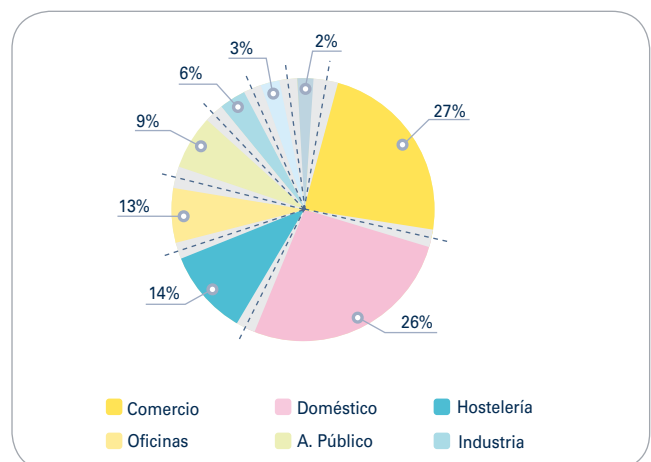


Pasillos con iluminación natural.

Si realizamos una comparación entre los balastos, electrónicos y electromagnéticos podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Reducción del 25% de la energía consumida, respecto a un equipo electromagnético.
- Incremento de la eficiencia de la lámpara.
- Incremento de la vida de las lámparas hasta el 50% y reducción de los costes de mantenimiento.
- Reducción de la carga térmica del establecimiento debido a la menor generación de calor. Esto resulta especialmente importante para disminuir el consumo del sistema de refrigeración.
- Luz más agradable, sin parpadeo ni efecto estroboscópico.

FIGURA 6  
Reparto por Sectores del Consumo de Energía Final en Iluminación en España (2.817 ktep/año 2000).



Fuente: IDAE.

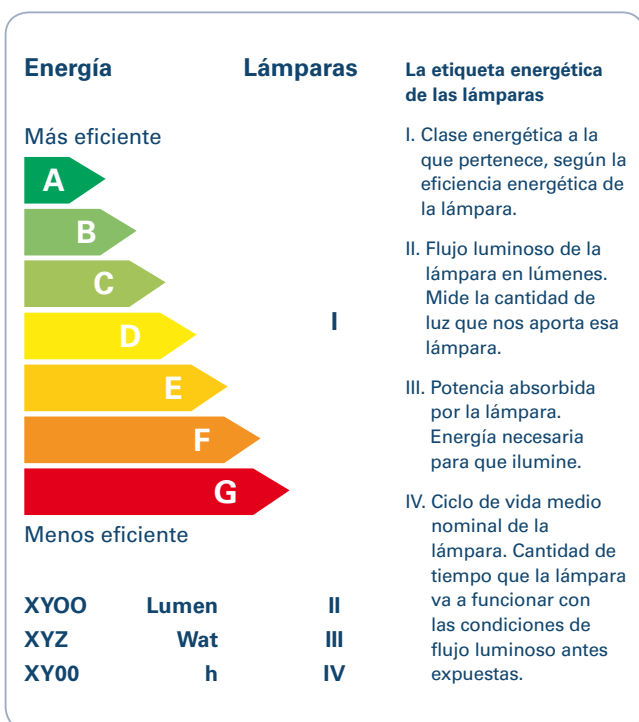
### 7.3. Optimización del alumbrado natural-artificial

En general, los edificios utilizan energía de dos maneras. En las viviendas, el mayor gasto de energía es en iluminación, aparatos domésticos y agua caliente. En espacios como oficinas, escuelas, bibliotecas, aeropuertos y almacenes, los costes de la iluminación artificial constituyen cerca del 50% del uso total de la energía y se usan también computadoras, fotocopiadoras y aire acondicionado. El uso de la luz del día combinado con la iluminación de alto rendimiento mediante vidrios adecuados puede conducir a un 30% - 50% de ahorro y en algunos casos hasta un 70%. Las funciones principales del cristal como elemento del edificio, ya sea una ventana o una fachada de vidrio, consiste en proporcionar la luz del sol, iluminación diurna, ventilación, visión, aislamiento, así como regular el reloj biológico del cuerpo.

Mediante una correcta distribución de las ventanas y la optimización de los vidrios empleados en ellas se puede mejorar el confort de los ocupantes del edificio reduciendo el consumo de energía asociado con la entrada y emisión de luz por las superficies ópticamente transparentes.

La sección HE3 del Código Técnico de la Edificación establece como exigencia básica que los edificios, tanto los nuevos como los que se reformen, dispongan de instala-

FIGURA 7 Etiquetado energético.



Fuente: IDAE.

TABLA 3 Cuadro de ahorros comparativos.

Bombilla convencional a sustituir	Lámpara de bajo consumo que ofrece la misma intensidad de luz	Ahorro en kWh durante la vida de la lámpara	Ahorro en coste de electricidad durante la vida de la lámpara (euros)
40 W	9 W	248	25
60 W	11 W	392	39
75 W	15 W	480	48
100 W	20 W	640	64
150 W	32 W	944	94

Fuente: IDAE.

ciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente. Para ello, la eficiencia energética del sistema de iluminación, no deberá superar un valor límite y deberá contar también con un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural.

La tendencia actual está encaminada a aprovechar y optimizar la luz natural al máximo. No solo teniendo en cuenta factores estéticos o buscando objetivos de ahorro energéticos, sino también aprovechando el confort visual que origina ésta frente a la artificial. Por este motivo, cada vez es más usual el uso de recursos constructivos como galerías, porches, atrios, conductos de luz, solares, muros cortina, paredes translúcidas, claraboyas, cúpulas, techos translúcidos o envolventes de tipo membrana.

La luz natural puede aportar incrementos en la eficiencia del sistema de iluminación combinada con sistemas automáticos de regulación de luz artificial. Los sistemas basados en el control de la luz natural que penetra en un local, por medio de fotocélulas, constituyen otro método para el ahorro energético.

Algunos consejos para ahorrar energía y lograr mayor eficiencia pueden ser:

- Utilizar lámparas de bajo consumo y cuando los espacios que se van a iluminar no sean de uso continuo instalar detectores de presencia.
- La instalación de fotocélulas (en combinación con balastos electrónicos regulables), que hagan variar el flujo luminoso emitido por las lámparas en función de la variación de luz natural.



- Sustitución de los balastos electromagnéticos por electrónicos.

Los valores iniciales de iluminancia pueden volver a alcanzarse limpiando las luminarias y cambiando las lámparas a intervalos convenientes.

- Limpiar las luminarias (para alcanzar los valores iniciales de iluminación), y cambiar las lámparas que han dejado de funcionar.

- Los atrios, lucernarios, claraboyas, ventanas y demás espacios acristalados pueden y deben minimizar nuestras necesidades de iluminación de día en interiores.

TABLA 4  
Características de las lámparas más utilizadas en urbanismo y edificación.

	Tipo de lámpara	Imagen	Índice de reproducción cromática (0-100)	Vida útil (horas)	Eficacia luminosa (lm/W)	Equipo auxiliar	Observaciones	Coste
Edificación	Incandescente		100	1.000	9-17	-	Evitar. Consumen un 80% más que las fluorescentes y fluorescentes compactas	Reducido
	Fluorescente		60-95	8.000-12.000	65-100	Arrancador, balasto y condensador	El balasto electrónico reduce su consumo en un 25%	Reducido
	Fluorescente compacta		85	8.000-12.000	45-70	Equipo electrónico incorporado	Comunmente llamadas lámparas de bajo consumo. Retardo en encendido. Las integradas sustituyen directamente a las incandescentes.	Medio
	Halógena		>90	2.000	15-27	-	Encendido instantáneo. Elevada intensidad luminosa. Corta duración de la lámpara y reducida eficacia luminosa.	Medio
	Halógena de bajo consumo		>90	2.000-3.000	18-25	Transformador	Ahorro de un 30% en consumo energético	Medio
Urbanismo	Vapor de mercurio		50-60	12.000-16.000	30-60	Balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves de gran altura	Medio
	Vapor de sodio alta presión		20-80	10.000-25.000	50-150	Arrancador, balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves de gran altura con poca exigencia visual y exteriores	Alto
	Vapor de sodio baja presión		0	6.000-8.000	160-180	Arrancador, balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en alumbrado público por su alta eficiencia y buena percepción de contrastes. Reproducción y rendimiento del color bajo.	Alto
	Halogenuro metálico		60-85	6.000-15.000	75-90	Arrancador, balasto y condensador	Retardo en encendido. Aplicación en naves con exigencias visuales moderadas o altas.	Alto
	Halogenuro metálico cerámico		80-90	15.000	80-90	Arrancador, balasto y condensador	Calidad de iluminación alta. Luz brillante y tamaño compacto. Es recomendable el uso de balastos electrónicos.	Alto





07 | Eficiencia y Ahorro Energético  
en el Transporte. Biocombustibles

## 1. Ventajas e impacto del transporte público y privado

### 1.1. Impacto del transporte

En los últimos años se ha experimentado en nuestro país un gran aumento de la movilidad motorizada, sobre todo en las ciudades, que ha sido absorbido en su mayor parte por el vehículo particular, en detrimento de otros modos alternativos como el transporte público, los viajes a pie o en bicicleta.

El transporte, como cualquier actividad humana, produce un impacto en la naturaleza y en la sociedad. Es por tanto una obligación evaluar este impacto y hacer un uso responsable y eficaz del transporte. Las consecuencias de la tendencia creciente que se da en su uso son las siguientes:

- Un aumento en el consumo de combustible y, por tanto, de las emisiones. Uno de los aspectos directamente ligados al consumo de combustibles fósiles es la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global.
- Mayor contaminación atmosférica. Los vehículos emiten al aire diversos contaminantes perjudiciales para la salud. Las vías de circulación muy densamente transitadas son las más susceptibles de sufrir niveles de contaminación atmosférica elevados. La baja eficiencia medioambiental del automóvil frente al transporte público, y lógicamente frente a los viajes en bicicleta o a pie, hace que la contaminación atmosférica urbana sea una de las consecuencias más graves del aumento continuado del uso del automóvil.
- Mayor contaminación acústica. Otro aspecto de la contaminación de vehículos es el ruido que generan, principalmente en las zonas urbanas, donde el ruido debido al tránsito de vehículos supone un 80% del ruido ambiental total.
- Volumen creciente de vertidos líquidos y residuos sólidos generados durante la vida útil de los vehículos y al final de la misma. Es importante una adecuada gestión de los vehículos después de su vida útil, en la que se separe cada uno de los residuos producidos, y se reciclen y/o reutilicen aquellos que sea posible.
- Impacto ambiental y paisajístico producido por las nuevas infraestructuras utilizadas para el transporte: redes de carreteras, autopistas, gasolineras, etc.

- La saturación de la red viaria existente causa una reducción de la velocidad media de la circulación, con el consiguiente aumento de los tiempos de recorrido, incluidos a los vehículos de transporte colectivo de viajeros, lo que origina una peor calidad del transporte.
- Un aumento de los índices y en los costes de congestión, especialmente en las grandes ciudades.
- Inseguridad vial. Un incremento en el número de accidentes de tráfico. El número de muertes por millón de viajeros transportados en el vehículo privado es mucho más elevado que en el transporte público.
- Degradación de los centros históricos, que sufren una presión por parte del automóvil, impensable cuando se diseñaron y construyeron.

El ahorro energético en el transporte permite reducir el impacto medioambiental y social del sector, al mismo tiempo que supone un ahorro económico importante. Una forma eficaz de cumplir estos objetivos es utilizar el transporte público en lugar del privado que, como veremos a continuación presenta, importantes ventajas económicas, medioambientales y sociales.

### 1.2. Diferentes modos de transportes

Dentro del sector transporte, existe un gran desequilibrio en la participación de los diferentes modos en la movilidad total y en el consumo energético del sector.

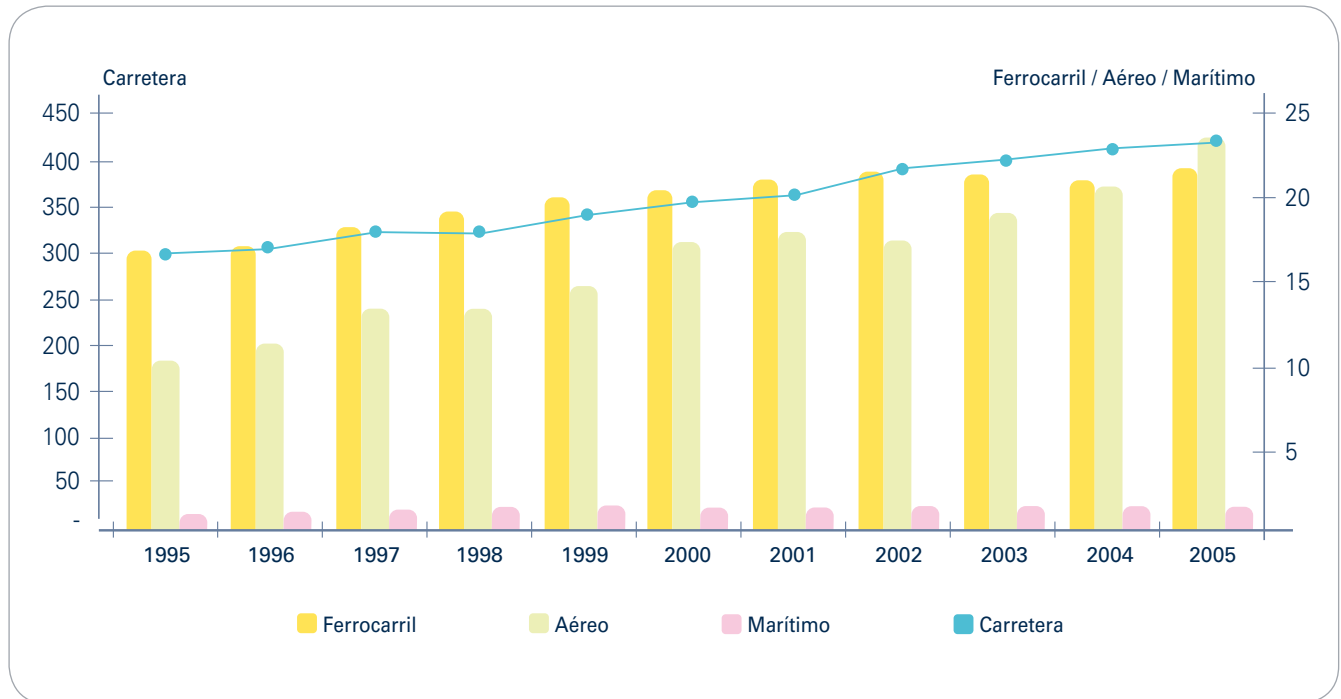
El consumo energético del sector transporte ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, con una participación cada vez mayor del transporte por carretera, principalmente del vehículo privado.

En cambio, a pesar de ser el medio de transporte más utilizado, el coche es un modo poco eficaz en términos energéticos, sobre todo en comparación con el autobús.

Cabe destacar las grandes diferencias que existen entre un medio de transporte y otro en relación con el consumo específico. En viajes interurbanos, el coche consume, por viajero y kilómetro recorrido, casi tres veces más que el autocar. Estas diferencias son aún mayores en medios urbanos, en los que el transporte público es todavía más eficiente que el vehículo privado.

FIGURA 1

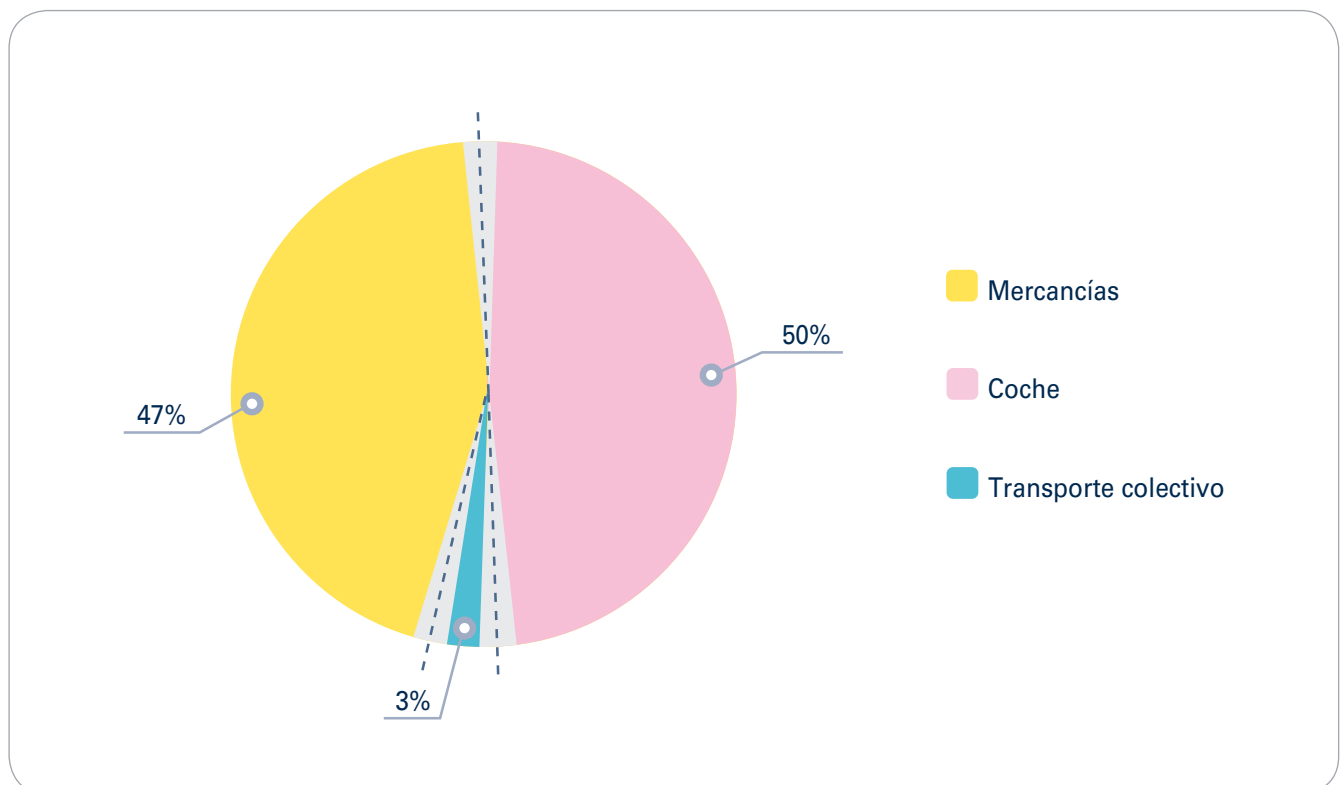
Participación de los diferentes modos de transporte en la movilidad total en miles de millones viajeros-kilómetro.



Fuente: Ministerio de Fomento.

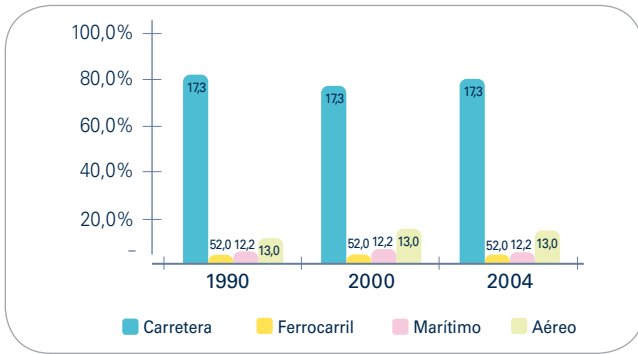
FIGURA 2

Distribución del consumo energético del transporte por carretera según la utilización en el año 2000.



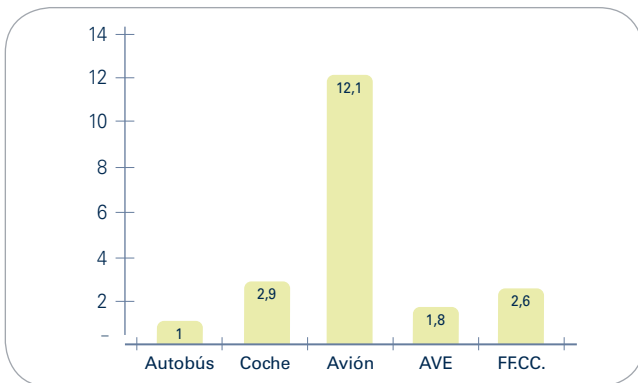
Fuente: IDAE.

**FIGURA 3**  
Consumos energéticos de los diferentes modos de transporte.



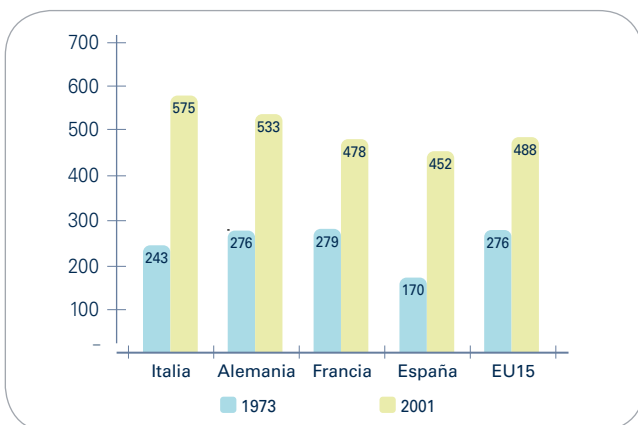
Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) / Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

**FIGURA 4**  
Consumo comparado de los diferentes medios de transporte en unidades de energía por viajero-kilómetro.



Fuente: IDAE.

**FIGURA 5**  
Coches turismo por 1.000 habitantes.



Fuente: IDAE.

### 1.3. El vehículo como modo de transporte

En España, el parque de automóviles por habitante ha sufrido un gran incremento en los últimos años, superior al de los países de su entorno.

Este aumento del número de vehículos conlleva, además de un incremento de todos los impactos comentados anteriormente, una mayor ocupación del espacio, que tiene mayor relevancia en ciudades, donde la densidad de vehículos es muy elevada. La utilización del transporte público permite una reducción importante del espacio urbano ocupado.

Otro de los aspectos clave para comparar el transporte público y el privado son los costes. Para evaluar el coste total que anualmente supone la posesión de un vehículo, hay que tener en cuenta costes fijos y variables:

- **Costes fijos.** La parte anual repercutida del coste de adquisición del vehículo, que depende del número de años que lo vayamos a usar, el impuesto de circulación, el seguro, y los gastos de mantenimiento.
- **Costes variables.** Coste del combustible, gastos de estacionamiento, peajes y posibles reparaciones.

El coste medio de un utilitario es de 0,25 €/km, mientras que para una berlina de tamaño medio este coste puede llegar a 0,34 €/km.

Además de los costes directos anteriores que repercuten en el usuario, existen unos costes externos que soporta la sociedad como consecuencia de los accidentes de tráfico, de los atascos, de la contaminación atmosférica y del ruido. Los costes ocasionados por la congestión del tráfico y los accidentes representan un 0,5% y un 2% del Producto Interior Bruto (PIB) de la UE respectivamente, según los cálculos de la Comisión Europea.

El índice medio de ocupación de los vehículos es de 1,2 personas por vehículo, y más del 75% de los desplazamientos urbanos se realizan en vehículos privados con un solo ocupante. Además, el 50% de los viajes en coche son de menos de 3 km.

En la ciudad, el número de desplazamientos en coche y en transporte público es similar. Sin embargo, el consumo del transporte público sólo representa el 2% del consumo total del transporte urbano.

Estos datos ponen de manifiesto la importancia de utilizar el transporte público o en su defecto considerar la posibilidad de compartir el coche con otras personas que realicen el mismo recorrido.

## 1.4. Ventajas del transporte público

En resumen, las principales ventajas de utilizar el transporte público en lugar del privado son las siguientes:

- Menor coste para el usuario (en muchos casos mucho menor).
- Gran reducción del consumo de energía por persona y kilómetro recorrido.
- Menos emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero.
- Menos ruido generado.
- Menor ocupación del espacio y por tanto menor congestión.
- En flotas de transporte público es más sencillo implantar sistemas de reducción de emisiones a través de nuevas tecnologías, sistemas de propulsión o combustibles alternativos.
- Es posible aplicar conceptos de gestión de flotas para aumentar la eficiencia.
- Aumento de la seguridad vial al reducir el número de vehículos en circulación.
- Menor degradación de los centros históricos.

## 2. Gestión de flotas

El desarrollo de sistemas de transporte cada vez más completos es una necesidad inherente al crecimiento económico por su contribución a la mejora de la accesibilidad, integración y cohesión del territorio. El impulso económico al que ha asistido nuestra sociedad en los últimos decenios ha venido acompañado de un fuerte incremento en la demanda de movilidad, y ha planteado mayores requerimientos de consumo energético.

La baja eficiencia energética del sector (es el de mayor consumo de energía) y su dependencia casi total de las importaciones de petróleo, determinan sus problemas ambientales asociados. De los seis gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo de Kioto (dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), el transporte es responsable de los tres primeros (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O). Además, también contribuye a la acidificación del medio y a la destrucción de la capa de ozono.

## 2.1. Importancia de la gestión de flotas

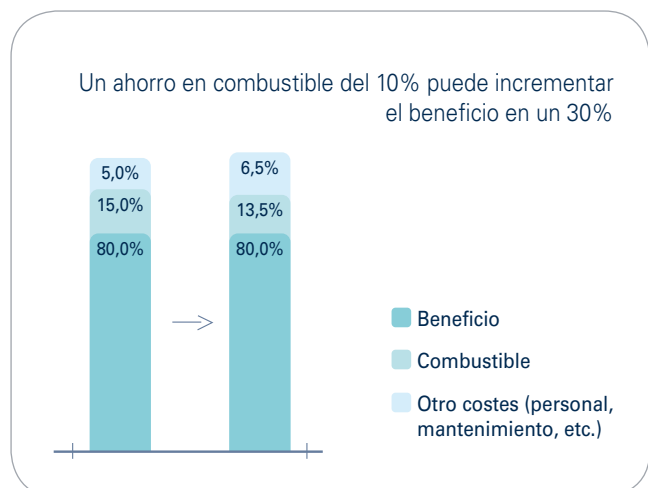
Se considera una flota de transporte a aquel conjunto de vehículos que, destinado al transporte de personas o mercancías, depende económicamente de la misma empresa. La relevancia del combustible en la estructura de costes de las flotas de transporte las vuelve especialmente vulnerables al incremento de los precios del crudo y las sitúa en el punto de mira de una sociedad cada vez más preocupada por los fenómenos medioambientales.

La combustión del carburante en el motor emite a la atmósfera cantidades importantes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), unos 2,6 kg/l y 2,35 kg/l por cada litro de gasóleo y de gasolina consumidos respectivamente. La reducción en el consumo de combustible va ligada a la disminución de emisiones a la atmósfera, especialmente de aquellas que se relacionan con los fenómenos del calentamiento global del planeta y el cambio climático.

Se entiende por gestión del combustible, el diseño y la puesta en práctica de un sistema de control y supervisión del consumo de carburante de los vehículos de una flota de transporte con el objetivo de dar un uso más eficiente a cada litro de combustible adquirido.

Este uso más eficiente del combustible no solo contribuirá a mejorar la conservación del medio ambiente sino que también se traducirá en un ahorro de costes para la empresa. Además, la utilización de la reducción de emisiones en la gestión empresarial es un aspecto novedoso que puede redundar en la mejora de la imagen de la empresa y en el consecuente aumento de la cartera de clientes.

FIGURA 6  
Beneficios de la reducción del consumo de combustible en una estructura de costes ficticia.



Fuente: Elaboración propia.

El peso de los costes de carburante respecto al total varía en función del tipo de flota considerada. Así, puede oscilar desde el 5% para una pequeña flota con bajos kilometrajes anuales, hasta el 30% en flotas de gran tonelaje y largo recorrido. Si consideramos una flota intermedia en la que los costes de combustible supongan un 15% respecto al total, una reducción del 10% en los costes de combustible puede revertir en un aumento del beneficio del 30%.

## 2.2. Elementos sobre los que incide la gestión de flotas

En la búsqueda de la mejora de eficiencia energética, la gestión de flotas presenta fundamentalmente tres focos de actuación:

### 2.2.1. Vehículo

En el momento de la adquisición es importante valorar que el vehículo se ajuste a las necesidades de potencia y transmisión de la flota. Adquirir un vehículo que habitualmente no va a utilizarse empleando toda su potencia supone un aumento innecesario en el consumo de combustible; del mismo modo, un vehículo de doble eje tractor puede consumir hasta 3 litros más cada 100 km respecto a uno simple.

Un mantenimiento adecuado de la flota es necesario para asegurar el funcionamiento y seguridad de los vehículos pero, además, puede incidir directamente en la disminución del consumo de combustible.

- Control de los neumáticos. Se deben respetar las presiones mínima y máxima recomendadas por el fabricante. Con una presión incorrecta aumenta el consumo de combustible, disminuye la velocidad y se produce un desgaste irregular, lo que dificulta la conducción.
- Control de filtros. Su cuidado y cambio periódico son parte importante del mantenimiento de cualquier vehículo.
  - Del estado del filtro de aceite depende en gran medida la vida útil del motor y puede aumentar el consumo del vehículo hasta un 0,5%.
  - Un filtro de aire obturado puede incrementar el consumo de combustible hasta en un 1,5%, debido a que altera la mezcla de aire combustible.
  - El mal funcionamiento del filtro de combustible puede aumentar el consumo hasta un 0,5%.

- Existen otros aspectos que el conductor puede vigilar para que no repercutan de forma negativa en el consumo, como por ejemplo, la colocación de la carga, que afecta a la resistencia aerodinámica del vehículo. Otro factor que hay que tener en cuenta es la forma de calentar la cabina cuando el conductor del camión debe permanecer en ella varias horas, sin estar el vehículo en movimiento. En ese caso, el calefactor de cabina consume hasta diez veces menos que el motor del vehículo funcionando al ralentí

### 2.2.2. Conductor

La formación de los conductores en técnicas de conducción eficiente es un aspecto fundamental para las flotas de transporte. Se trata de la aplicación de una serie de sencillas técnicas que suponen una modificación, respecto a ciertos hábitos adquiridos por los conductores, lo que no sólo incrementa la seguridad, sino que también permite lograr importantes ahorros en combustible y emisiones al medio ambiente.

La conducción eficiente permite:

- Ahorros de carburante de hasta el 15%.
- Reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Disminución de la contaminación acústica.
- Aumento del confort en el vehículo.
- Ahorro en los costes de mantenimiento.
- Mejora de la seguridad en la conducción.

Las empresas deben desarrollar programas de formación para sus conductores, enfocados en función de los distintos tipos de vehículo que utilizan. Una plantilla preparada permitirá aprovechar más eficientemente los vehículos de la flota.

Está comprobado que la instalación de medidores de consumo motivan al conductor a tratar de rebajar la media; muchas empresas establecen también mecanismos de incentivos como primas por productividad, en función de la disminución de consumo medio.

### 2.2.3. Ruta

Las técnicas que se han presentado hasta ahora persiguen fundamentalmente la disminución del consumo por kilómetro recorrido. La optimización de rutas, sin embargo, se centra en la reducción del número de kilómetros recorridos para ahorrar combustible.



En la elección de ruta para un determinado trayecto se consideran aspectos como el tipo de vía, la saturación de tráfico previsible y el número de kilómetros que se van a recorrer. Este último aspecto se relaciona con la elección del vehículo más apropiado, en principio será aquel más cercano al punto de recogida aunque, de existir varios vehículos disponibles, debe considerarse el consumo medio por kilómetro del vehículo, y que la capacidad sea la mínima imprescindible para transportar la carga requerida. La utilización de sistemas telemáticos que faciliten la posición de los vehículos resulta de gran ayuda en la optimización de las rutas.

Los trayectos sin carga suponen un gasto inútil de combustible, por lo que las empresas recurren cada vez más a bolsas de cargas como herramienta para optimizar la planificación de necesidades y evitar viajes en vacío o cargas no transportadas. Se trata de sistemas de información interconectados que permiten poner en contacto a agencias que necesiten trasladar mercancías con transportistas que disponen de camiones vacíos.

### 3. Conducción y mantenimiento eficiente

Una utilización responsable y eficaz de nuestro vehículo pasa por una elección adecuada en la compra del coche, un buen mantenimiento de éste y una conducción eficiente.

#### 3.1. La compra del coche

En el momento de la compra del vehículo es necesario considerar varios aspectos. Uno de los más importantes es su consumo. Con el fin de conseguir disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y fomentar el ahorro de energía, actualmente la legislación española obliga a la difusión de información sobre las características energéticas de los vehículos nuevos a través de tres medios:

- Una etiqueta obligatoria que contiene los datos oficiales de consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>, además de hacer referencia al modelo del vehículo y al tipo de carburante que utiliza. Debe de estar colocada de forma visible cerca de cada vehículo en el punto de venta.
- Una guía en la que se especifica el consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono de todos los modelos que se comercializan en el mercado, además de ofrecer consejos para consumir menos, explicar los efectos de los gases emitidos, etc. El contenido de esta guía ha sido elaborado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), empresa pública del Ministerio de Industria, en

colaboración con las asociaciones de fabricantes y con importadores de coches. Debe estar a disposición de los consumidores en cada punto de venta y también está disponible en Internet ([www.idae.es](http://www.idae.es)).

- Existe además una etiqueta voluntaria, similar a la etiqueta de eficiencia energética de los electrodomésticos. El consumo oficial de carburante de un coche se compara con el valor medio de los coches puestos a la venta en España por todos los fabricantes con igual tamaño y carburante. A la diferencia con la media expresada en porcentaje se le asigna un color determinado y una letra. De esta forma, los coches que consumen menos combustible están clasificados como A, B y C (colores verdes); los que más consumen pertenecen a las clases E, F y G (colores rojos) y los de la letra D (color amarillo) corresponden a la media de consumo de su categoría.

Además, los datos oficiales de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub> deben quedar reflejados en los impresos de promoción de los fabricantes.

También hay que considerar en el momento de la compra la posibilidad de elegir algún tipo de propulsión alternativa como los vehículos híbridos, que tienen un menor consumo y emisiones, vehículos eléctricos si se van a utilizar para recorridos cortos, o vehículos que utilicen combustibles alternativos, como se verá en los apartados correspondientes.

#### 3.2. El mantenimiento

El mantenimiento del vehículo, además de ser fundamental para su seguridad, influye en el consumo del carburante y las emisiones producidas. Es importante revisar periódicamente el estado general del motor, niveles de líquidos y filtros y, sobre todo, la presión de los neumáticos, controlando que estén dentro de lo especificado por el fabricante. Los principales factores que influyen sobre el consumo y las emisiones contaminantes son:

- **Diagnóstico del motor:** Cada cierto tiempo debe realizarse una revisión computerizada del control electrónico del motor para detectar posibles averías ocultas. Estas revisiones deben realizarse en un taller especializado, ya que la manipulación indebida del sistema de control podría aumentar significativamente las emisiones contaminantes.
- **Control de los niveles, filtros y recambios:** Se deben cambiar los filtros, el aceite y las bujías en el momento indicado. La elección incorrecta del tipo de aceite puede aumentar el consumo hasta un 3%, por lo que es importante seguir las recomendaciones del fabricante.

- **Control de la presión de los neumáticos:** La falta de presión en los neumáticos causa un aumento en el consumo de combustible de un 3% aproximadamente, además de importantes riesgos de accidente.

### 3.3. Conducción eficiente

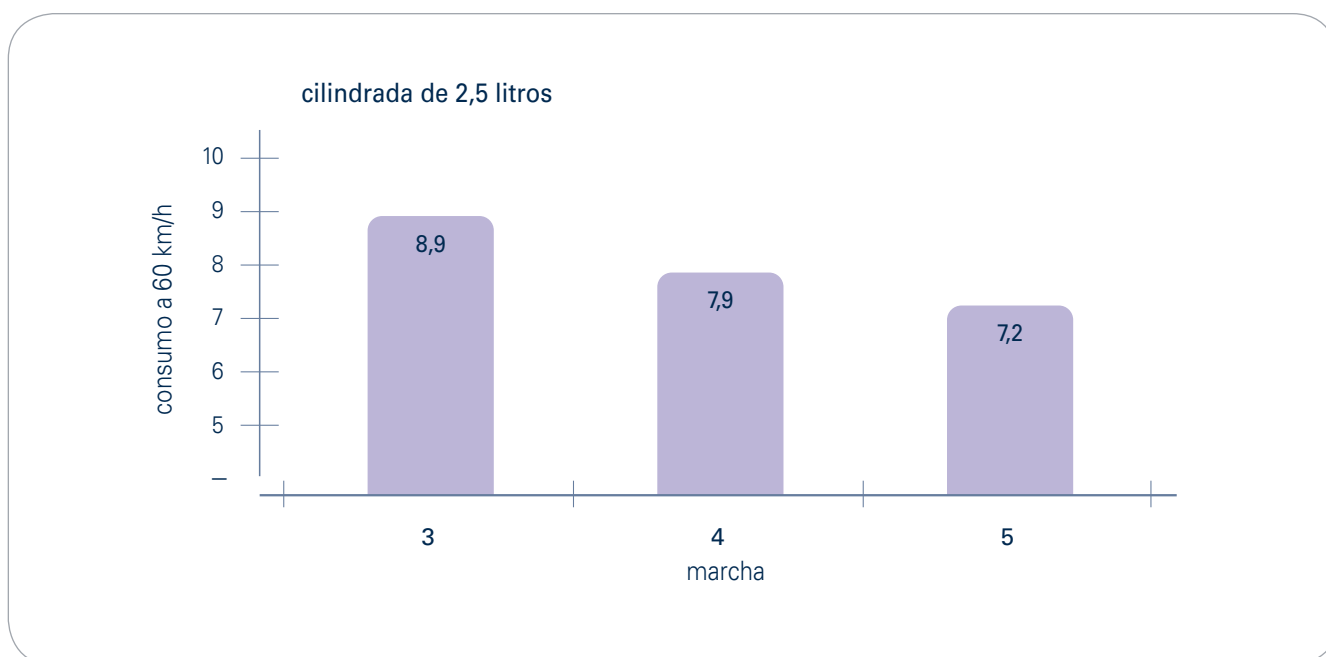
Realizando una conducción eficiente se pueden alcanzar ahorros de combustible del 10% al 15%. Además, mediante una conducción eficiente se consigue mejorar la seguridad y el confort, se reducen las emisiones asociadas y se disminuyen los costes de mantenimiento.

Se puede realizar una utilización más responsable y eficiente del automóvil siguiendo unas sencillas reglas:

- No utilizar el coche para distancias cortas. Un motor frío utiliza un 40% más energía de lo usual. Valorar la opción de ir a pie o en bicicleta.
- Planificar la ruta y escoger el camino menos congestionado.
- No poner el coche a calentar en posición de parada. Si se comienza la marcha inmediatamente, el motor alcanzará la temperatura adecuada más rápidamente, y ahorrará combustible y emisiones.

- Utilizar la primera marcha sólo para arrancar el motor.
- Conducir suavemente, con anticipación frente a las situaciones imprevistas del tráfico; si se cambian las marchas en el momento apropiado y sin frenazos ni acelerones se evitan ruidos innecesarios, gases, emisiones, y se puede ahorrar hasta un 45% de combustible en las mismas distancias.
- En los procesos de aceleración hay que realizar los cambios de marcha:
  - Entre 2.000 y 2.500 revoluciones en los motores de gasolina.
  - Entre 1.500 y 2.000 en los motores diésel.
- Circular el mayor tiempo posible en las marchas más largas y a bajas revoluciones. En la ciudad, siempre que sea posible, se deben utilizar la 4ª y la 5ª marcha, respetando siempre los límites de velocidad.
- No conducir a velocidades altas. Se ahorra combustible y se evita ruido y gases del tubo de escape; además de aumentar el estándar de seguridad y la vida del coche.
- En las deceleraciones hay que levantar el pie del acelerador y dejar rodar el vehículo con la marcha engranada.

FIGURA 7  
Consumo a 60 km/h (en l/km) para cilindrada de 2,5 litros.



Fuente: IDAE.

nada frenando suavemente y reduciendo de marcha lo más tarde posible.

- Apagar el motor si se está parado más de 60 segundos aproximadamente. Cuando un coche está al ralentí, consume entre 0,4 l/h y 0,9 l/h. Después de un minuto al ralentí, un coche habrá expulsado más gases de su tubo de escape de los que hubiese producido encendiendo y apagando el motor.

Otros factores relacionados con la conducción que afectan al consumo, además del mantenimiento del vehículo visto anteriormente son los siguientes:

- Los accesorios exteriores, como bacas portaequipajes u otros, aumentan la resistencia del vehículo al aire y pueden incrementa el consumo hasta en un 35%.
- El uso de equipos auxiliares aumenta el consumo de carburante de forma significativa, por lo que hay que utilizarlos con moderación. En particular, la utilización del aire acondicionado puede incrementar el consumo hasta en un 25%. La temperatura de confort en el interior del habitáculo se encuentra en torno a 23 °C - 24 °C.
- Conducir con las ventanillas bajadas aumenta la resistencia al avance del vehículo, por lo que crece el consumo un 5% aproximadamente.

- El peso de los objetos y personas transportados en el vehículo influye significativamente en el consumo, que aumenta en torno a un 5% por cada 100 kg de peso adicionales.

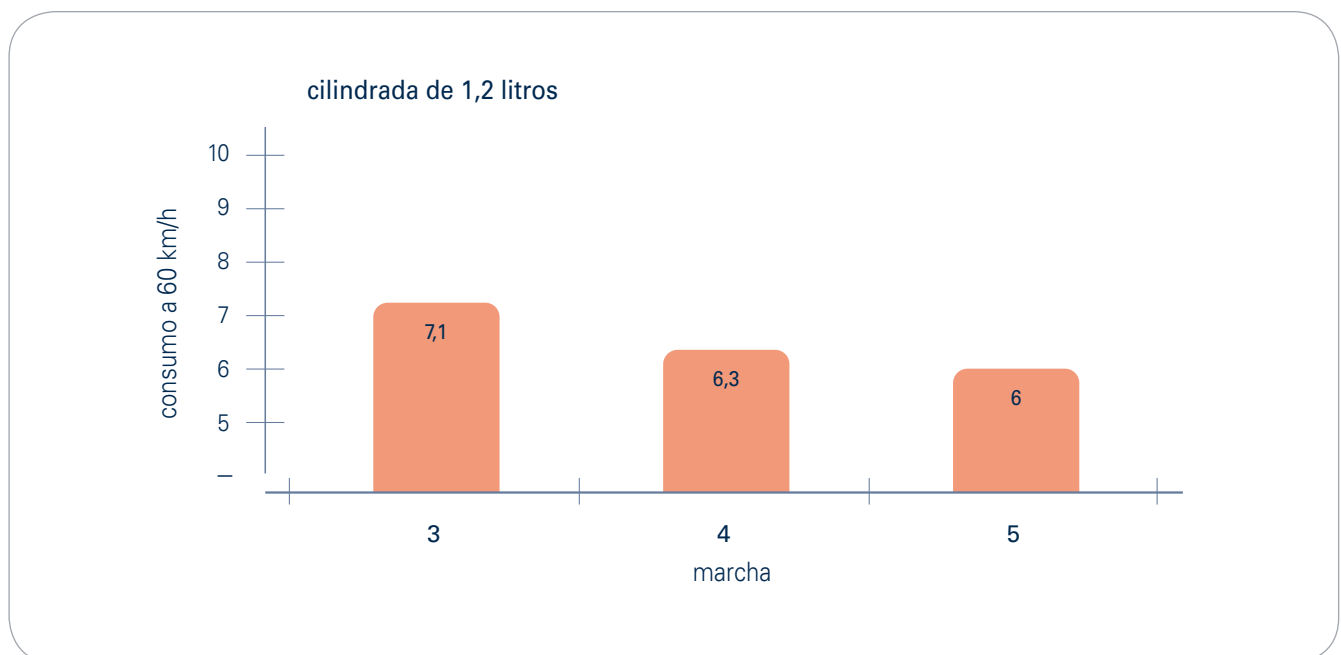
### 3.4. Eficiencia energética en el uso del vehículo

Dentro de las acciones que podemos llevar a cabo como ciudadanos para reducir el consumo energético, toma gran importancia la utilización racional y energéticamente eficiente del vehículo privado, ya que aproximadamente la mitad de la energía que consumen las familias españolas se destina al coche privado.

La medida más efectiva para reducir el consumo de energía es utilizar medios de transporte alternativos al coche.

- En trayectos cortos, es posible ir a pie o en bicicleta. En la ciudad, el 50% de los viajes en coche son para recorrer menos de 3 km, con el agravante de que un motor frío puede llegar a utilizar un 40% más energía de lo usual.
- En otros casos, y sobre todo en la ciudad, la mejor alternativa al coche es el transporte público. Entre las numerosas ventajas de utilizar el transporte público en lugar del privado está un menor coste, menor consumo de energía, menos emisiones, menos ruido generado y menor congestión del tráfico.

FIGURA 8  
Consumo a 60 km/h (en l/km) para cilindrada de 1,2 litros.



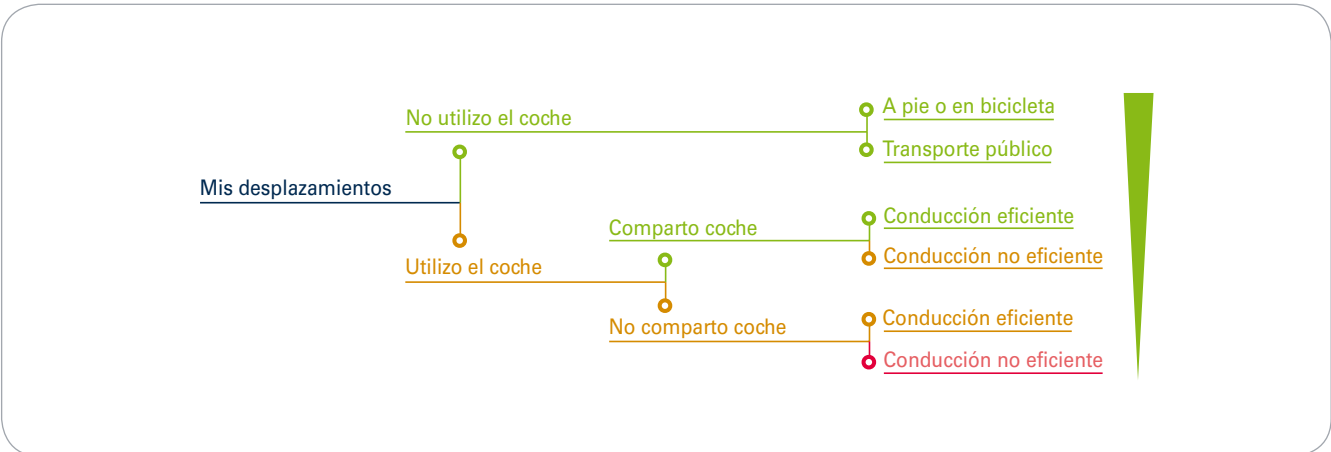
Fuente: IDAE.

FIGURA 9  
Decálogo de conducción eficiente.

1. Poner el motor en marcha sin pisar el acelerador. Calentar el motor circulando suavemente.
2. Utilizar la primera velocidad sólo para el inicio de la marcha. Cambiar a 2ª a los 2 segundos o 6 m aproximadamente.
3. Realizar los cambios de marchas a bajas revoluciones y acelerar con suavidad después del cambio:
  - a. Entre 1.500 - 2.000 revoluciones por minuto en motores diésel.
  - b. Entre 2.000 - 2.500 revoluciones por minuto en motores de gasolina.
4. Circular en marchas largas y a bajas revoluciones el mayor tiempo posible.
5. Evitar frenazos, aceleraciones y cambios de marcha innecesarios.
6. Frenar de forma suave, con la marcha engranada y reduciendo de marcha lo más tarde posible.
7. Detener el coche sin reducir previamente de marcha cuando la velocidad y el espacio lo permitan.
8. Parar el motor en paradas de más de 60 segundos.
9. Conducir con anticipación y previsión. Mantener la distancia de seguridad.
10. Ante ocasionales emergencias, se deben realizar acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada.

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 10  
Árbol de decisión para el ahorro energético en los desplazamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Si la utilización del transporte público no es posible, existen también varias posibilidades para reducir nuestro consumo energético al utilizar el coche. Una de ellas es la posibilidad de compartir coche. Aunque la idea de compartir vehículo surge como algo natural; se puede organizar de forma sencilla cuando los horarios son similares y los puntos de salida y destino están cercanos, como en el caso de viajes de trabajo o estudios. Compartir coche nos permite reducir los gastos por persona asociados al vehículo y al aparcamiento hasta en un 75%, puesto que se reparten. Además es otra forma de reducir las emisiones al ambiente.

A la hora de utilizar nuestro coche, es importante tener en cuenta varios aspectos que nos permitirán ahorrar combustible y reducir las emisiones.

En primer lugar hay que hacer una elección adecuada en la compra del coche, de forma que éste se adapte a nuestras necesidades. Un vehículo nuevo consume aproximadamente un 25% menos que uno de hace 20 años, pero esas ventajas se pierden al comprar coches de gran potencia y cilindrada, con un consumo sensiblemente superior a los demás.

Durante la vida del vehículo se debe realizar un buen mantenimiento, que incluye el diagnóstico del motor en talleres especializados cada cierto tiempo, el control de los niveles, filtros y recambios, y el control de la presión de los neumáticos, lo que además de reducir el consumo de energía nos reportará ahorros económicos y aumentará la seguridad en nuestros viajes.

Además es muy importante realizar una conducción eficiente, con la que se pueden alcanzar ahorros de combustible del 10% al 15% con sólo seguir unas sencillas reglas, como planificar la ruta, no calentar el motor del coche antes de iniciar la marcha, apagar el motor si se está parado más de 60 segundos, utilizar la primera marcha sólo para realizar el inicio de la marcha, conducir suavemente, con anticipación frente a las situaciones imprevistas del tráfico y sin frenazos ni acelerones innecesarios, circular el mayor tiempo posible en las marchas más largas y a bajas revoluciones y no circular a velocidades altas, en las que el consumo se dispara. También hay que tener en cuenta aspectos que penalizan el consumo como bacas portaequipajes u otros accesorios exteriores, la utilización abusiva del aire acondicionado, circular con las ventanillas bajadas o el transporte de pesos innecesarios.

Es posible ahorrar gran cantidad de energía con sólo cambiar nuestros hábitos de utilización del coche, con el consiguiente beneficio económico, medioambiental y social que supone. Por tanto, es interesante tener en mente el siguiente

esquema siempre que vayamos a realizar un desplazamiento, para escoger la opción más eficiente.

Siempre que sea posible debemos seguir la opción marcada por las flechas verdes, que nos permitirá alcanzar la posición más alta en el diagrama, y que corresponde al mayor ahorro energético.

## 4. Biocombustibles

Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Los biocombustibles se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno, gas de síntesis).

Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna (motores diésel y Otto) y, en concreto, a los motores que mueven vehículos. Son, en general, de naturaleza líquida.

**Biocombustible:** combustible de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Puede ser sólido, líquido o gaseoso (la madera o los excrementos secos son biocombustibles). El uso y producción de los biocarburantes es una de las principales aplicaciones de los biocombustibles.

**Biocarburante:** engloba todos aquellos combustibles líquidos de origen vegetal (también llamados biocombustibles líquidos) cuyas características similares a las de los combustibles fósiles les permiten ser utilizados en motores alternativos de combustión interna (MACI), principalmente usados en el sector del transporte. Sin embargo, las propiedades físico-químicas de algunos biocarburantes los hace susceptibles de sustituir al gasóleo y el fuelóleo quemados en las calderas, ya sea en un aprovechamiento térmico o eléctrico.

### 4.1. Clasificación de biocarburantes

El uso y producción de biocarburantes es, después de la combustión para usos eléctricos o térmicos, la principal aplicación de los biocombustibles (biomasa).

Los biocarburantes con una implantación comercial importante y/o con un sustancial potencial de desarrollo se pueden dividir en dos grandes grupos: bioalcoholes y bioaceites.

#### 4.1.1. Bioalcoholes

Son derivados de productos vegetales con un alto contenido de hidratos de carbono. Estos bioalcoholes son principalmente bioetanol (etanol de origen vegetal) y su derivado el etil tert - butil éter (ETBE), específicamente orientados a servir como combustibles o aditivos de éstos en motores de encendido provocado (ciclo OTTO).

- **Bioetanol**

El bioetanol se produce principalmente mediante la fermentación alcohólica de granos ricos en azúcares o almidón; por ejemplo, los cereales, la remolacha azucarera y el sorgo. Mezclado con la gasolina convencional, normalmente como aditivo al 5%, puede utilizarse en los motores modernos de explosión que no han sufrido ninguna modificación. Los motores modificados, tales como los utilizados en los llamados vehículos de uso flexible de carburante, pueden funcionar con mezclas de etanol al 85%, así como con bioetanol puro y gasolina convencional.

- **ETBE (etil tert - butil éter)**

Es un producto obtenido a partir de etanol e isobuteno. Sustituye al metil tert - butil éter (MTBE), que es un derivado del petróleo y que se utiliza en las gasolinas sin plomo para aumentar el octanaje (número de octano) y que ha sustituido al Tetra Etilo de Plomo. Para fabricar ETBE, el etanol se mezcla con un subproducto obtenido en las refinerías llamado isobutileno. El uso de este aditivo tiene como ventajas una menor volatilidad y solubilidad, además de una mayor eficiencia térmica y el hecho de resultar menos corrosivo. Como desventajas, la necesidad de disponer de isobutileno y la exigencia de un proceso industrial añadido.

En general, lo más frecuente es utilizar el bioetanol absoluto en mezclas directas con gasolina, y en proporciones que puedan llegar al 10%, como en Estados Unidos o hasta el 20%, como es el caso de Brasil. En Europa se utiliza mayoritariamente para la fabricación de ETBE, aunque la tendencia es ir también a mezclas con gasolina

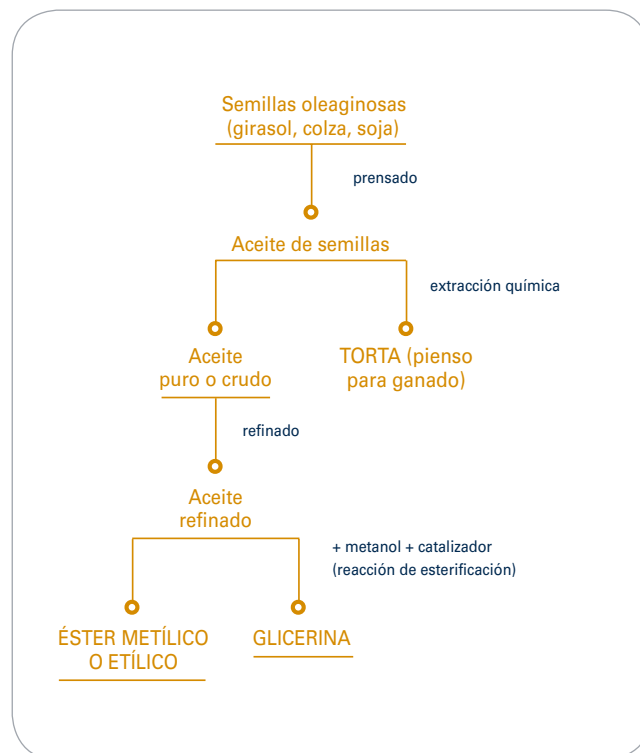
#### 4.1.2. Bioaceites

Los bioaceites y los ésteres derivados de éstos (genéricamente denominados biodiésel) se utilizan principalmente en motores de encendido por compresión (Diésel).

Los aceites vegetales están formados por largas cadenas de ácidos grasos extraídos de especies oleaginosas, tales como la colza, la soja o el girasol, si bien pueden utilizar igualmente los aceites de fritura usados y las grasas animales. Mediante

FIGURA 11

Proceso de producción de biodiésel.



Fuente: Elaboración propia.

la reacción de los aceites vegetales junto con un alcohol (transesterificación) se obtiene el biodiésel. Éste es el otro gran pilar de los biocarburantes. Se utiliza en los motores de compresión, normalmente en forma de mezcla al 5% en los coches, hasta el 30% en las flotas cautivas (como los autobuses urbanos) y a menudo también en forma pura en los motores modificados

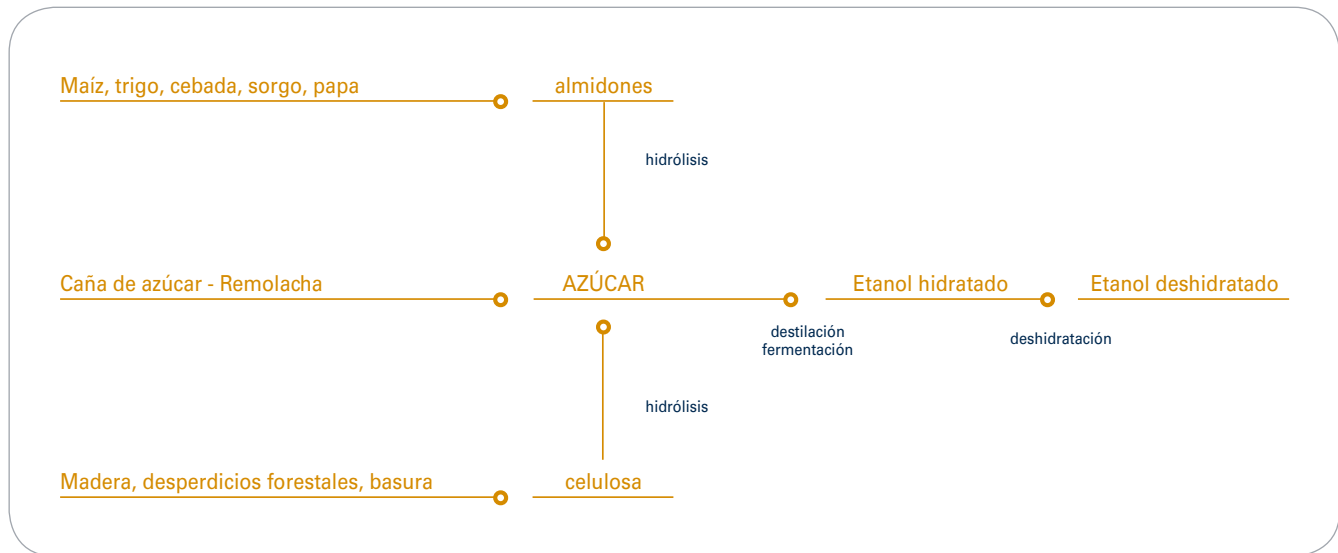
## 4.2. Fabricación de biocarburantes

Los biocarburantes se obtienen, generalmente, de la transformación de cultivos energéticos, excedentes agrícolas, subproductos de industrias azucareras o aceites usados, pero pueden obtenerse también a partir de materia lignocelulósica. Sus materias primas son muy diferentes y dependen de si se busca obtener bioalcoholes o bioaceites.

### 4.2.1. Bioaceites

Para la obtención de bioaceites los cultivos con más potencial son la colza (centro y norte de Europa), el girasol (área mediterránea) y la soja (América del Norte). También se pueden obtener utilizando como materia prima aceites usados de cocina, sumándose a las ventajas de los biocarbu-

FIGURA 12  
Proceso de producción de bioetanol.



Fuente: Elaboración propia.

rantes el eliminar un residuo difícil de gestionar (sobre todo en las depuradoras de aguas residuales si es vertido por los desagües). Técnicamente se pueden producir bioaceites desde grasas animales, aunque los procesos, en concreto el refinado necesario, son bastante complejos. Los bioaceites y su derivado principal, el biodiésel (éster metílico), presentan una volatilidad baja y una alta temperatura de autoencendido, lo que los hace inviables para los motores de encendido provocado (Otto). Así, los biocarburantes cuya materia prima son las especies oleaginosas encuentran su aplicación idónea en los motores de encendido por compresión.

#### 4.2.2. Proceso de producción de biodiésel

En el esquema de la figura 11 se puede observar el proceso de obtención de éster metílico o etílico (biodiésel). La materia prima son semillas oleaginosas de girasol, colza o soja. Como producto se obtiene el éster metílico o etílico buscado, y como subproductos una torta que sirve como alimento para ganado (por su alto contenido en proteínas) y glicerina, materia prima para la fabricación de cosméticos, para usos alimentarios (conservantes, edulcorantes, etc.), para papel de impresión, lubricantes, etc.

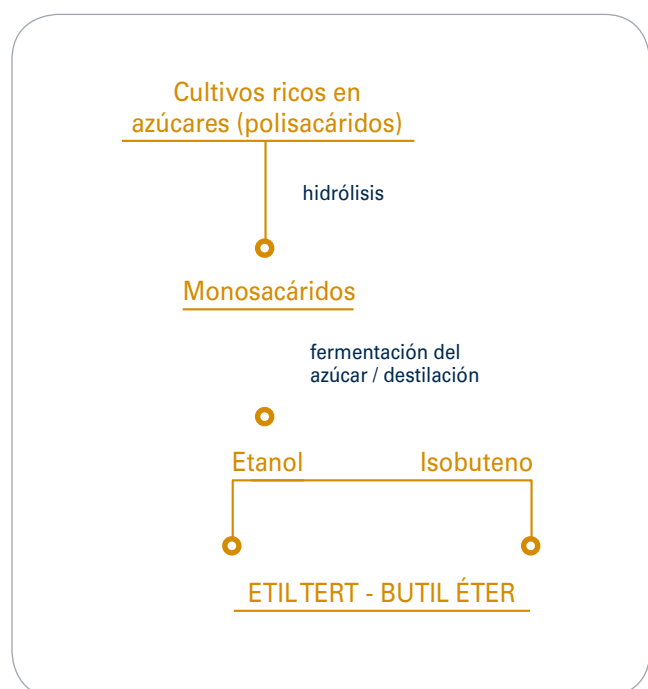
#### 4.2.3. Proceso de producción de bioetanol

En el esquema mostrado en la figura 12 se puede observar el proceso de producción de bioetanol. La materia prima son productos agrícolas con un alto contenido en hidratos de carbono (remolacha, caña de azúcar, trigo, maíz, patata, etc.).

#### 4.2.4. Proceso de producción de ETBE

En el esquema que aparece en la figura 13 se puede observar el proceso de obtención del etil tert - butil éter (ETBE). La materia prima es etanol e isobuteno, derivado del petróleo.

FIGURA 13  
Proceso de producción de ETBE.



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Ventajas de los biocarburantes

Desde el punto de vista medioambiental los biocarburantes están cargados de ventajas. De todas ellas, la más destacable es la importante reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, que se produce como consecuencia de la sustitución de los derivados del petróleo por estos carburantes. Aunque los biocarburantes liberan CO<sub>2</sub> durante su combustión, este ha sido previamente absorbido por la materia vegetal que constituye su materia prima. De este modo, el balance de emisiones es casi neutro, aunque no llega a serlo totalmente porque se producen algunas desviaciones debidas a las emisiones producidas por la maquinaria agrícola necesaria para obtener la materia prima, el consumo energético de las plantas de procesamiento o el transporte de la biomasa a los centros de producción y de los biocarburantes ya elaborados a los puntos de distribución y venta. En cualquier caso, la reducción es muy significativa.

Otra ventaja añadida es que gran parte del biodiésel que se elabora actualmente procede de aceites vegetales usados, con lo que además de obtener carburante de manera más limpia, se está retirando un residuo capaz de contaminar una media de 1.000 litros de agua por cada litro de aceite.

Como punto común a todos los biocarburantes está su menor peligrosidad con respecto a los combustibles fósiles. Para empezar, se trata de productos que tienen muchas más papeletas para consumirse cerca de sus lugares de origen, con lo que se puede evitar gran parte de trasiego, y con él, el peligro de que se produzcan vertidos accidentales. Pero en caso de producirse, los biocarburantes tienen una capacidad mucho mayor para disolverse en el agua, por lo que resultan altamente biodegradables. Esto significa que, mientras que la eliminación total de un vertido de fuel puede llevar años, requerir grandes inversiones en trabajos de retirada y resultar altamente peligrosa para las personas y el medio, un vertido de biocarburantes se elimina de manera natural en un plazo medio de 21 días y tanto su toxicidad como su peligrosidad resultan mucho menores. También en clave de seguridad, cabe destacar que el biodiésel es un producto menos peligroso que el gasóleo, ya que este se inflama a partir de 55 °C mientras que el biodiésel necesita 170 °C para entrar en combustión. Esto aporta seguridad durante el transporte.

En su informe Biofuels for Transport, April 2004, la Agencia Internacional de la Energía, tras analizar distintos ensayos y estudios de la última década, concluye con las siguientes ventajas medioambientales:

- La adición de biocarburantes a los combustibles fósiles reduce las emisiones de CO, de hidrocarburos, partículas y de SO<sub>2</sub> por el tubo de escape del vehículo.

- La emisión de los contaminantes más tóxicos del aire (benceno, butadieno, tolueno) disminuyen hasta en un 30% cuando se añade bioetanol a la gasolina convencional.
- La Asociación de Recursos Renovables de Canadá señala que agregar un 10% de etanol al combustible reduce hasta en un 30% las emisiones de monóxido de carbono (CO) y entre 6% y 10% las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); asimismo provoca una reducción en la formación de ozono.

Los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) patrocinados por el Ministerio de Medio Ambiente y realizados por el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en 2005, para las plantas de producción de biocarburantes del grupo de empresas ABENGOA en Cartagena y en La Coruña señalan que:

- La mezcla de gasolina y bioetanol (85%) producida en esas plantas evita que se emitan 170 g de CO<sub>2</sub> (90%) por cada kilómetro recorrido y permite un ahorro de energía fósil de un 36% respecto a la gasolina sin plomo de 95 octanos.
- La mezcla de gasolina y bioetanol (5%) producida en esas plantas evita que se emitan 8 g de CO<sub>2</sub> (4%) por cada kilómetro recorrido y permite un ahorro de energía fósil de un 1,12% respecto a la gasolina sin plomo de 95 octanos.
- Casi cualquier país con suficiente terreno puede producir etanol para su uso como combustible, aunque se necesitan muchos espacios de cultivo dado el bajo rendimiento en combustible. Supuesto un contenido de azúcar del 40% extraído del cultivo de caña originaria, se obtiene de sus melazas un 18% de alcohol como máximo, y finalmente solo el 7% de combustible del total del cultivo inicial.
- Durante su combustión se produce un aumento del calor de vaporización que genera una mayor potencia respecto a la gasolina; esto significa que con motores de pequeñas cilindradas se pueden conseguir rendimientos equivalentes a motores de gasolina de mayor cilindrada. Por esta razón en las carreras de coches como "Las 24 horas de Le Mans" este combustible es muy empleado; el equipo Nasamax ha sido la primera escudería en utilizar, en el circuito de Le Mans, un coche de competición movido por un carburante completamente renovable (bioetanol). Por ello esta escudería, en 2003 recibió un premio especial de la Automobile Club de l'Ouest por haber utilizado el bioetanol en lugar del combustible fósil (datos obtenidos de Nasamax).



#### 4.4. Inconvenientes de los biocarburantes

Para evitar introducir las modificaciones en motores que se requieren para la utilización de aceites vegetales sin modificar y mejorar sus características como carburantes, se recurre a transformarlos en sus derivados ésteres metílicos o etílicos. De esta manera se consigue que las largas cadenas ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, de menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas más similares al diésel de automoción.

Este biodiésel se puede utilizar bien puro o mezclado en distintas proporciones junto con el diésel de automoción, que es la forma más habitual de utilización.

La razón de realizar una mezcla con diésel convencional radica en que los aceites vegetales tienen, entre otras cosas, la particularidad de disolver la goma y el caucho. Debido a que estos aceites vegetales son la materia prima para la fabricación del biodiésel, dicho producto también disuelve la goma y el caucho, materiales empleados en la fabricación de los conductos y las juntas del sistema de alimentación de los vehículos (latiguillos o manguitos) por lo que con el uso prolongado de biodiésel 100%, se podrían llegar a degradar dichos conductos, y producir algún poro o pérdida de combustible (el biodiésel es biodegradable en un 98,3% en 21 días).

Desde mediados de los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han substituido dichos conductos por otros fabricados con materiales plásticos o derivados, con lo que el biodiésel no los disuelve en los motores de los automóviles, los problemas asociados por utilizar biodiésel como combustible de motores de inyección directa son los que a continuación se presentan:

- La potencia del motor disminuye, porque el poder calorífico inferior (P.C.I.) del biodiésel es menor.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente aumentan, consecuencia de las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, que a su vez se deben a un tiempo de retraso de esta.
- Cuando se utiliza 100% de biodiésel, el aceite lubricante se contamina, debido a la menor viscosidad del éster en comparación a éste.
- Algunos materiales se deterioran con el biodiésel: pinturas, plásticos, gomas, etc. cuando se utiliza 100% de biodiésel.

- Precios poco competitivos frente a los derivados fósiles y el enfrentamiento de cultivos energéticos, que también son empleados como cultivos alimenticios, lo que produce una situación poco deseada al entremezclar el mercado alimenticio con el de los combustibles, que distorsiona los precios y crea un impacto desfavorable en el mercado.
- Alto coste de producción.
- Desconocimiento por parte del consumidor.
- Escasez de una red de distribución y de estaciones de servicio.

## 5. Vehículos híbridos

La industria mundial del automóvil hace tiempo que inició la búsqueda de soluciones a la contaminación ambiental, y las vías de desarrollo técnico emprendidas hasta ahora van desde el coche eléctrico con baterías, los vehículos híbridos, a la llamada pila de combustible. El coche eléctrico parece la solución para conseguir un medio de transporte limpio, pero las posibilidades de que pueda llegar a reemplazar a los automóviles convencionales parecen todavía lejanas. De momento, no existe ningún tipo de batería que permita la carga necesaria para asegurar una autonomía suficiente, pese a que se trabaja en nuevos prototipos. Hay una solución intermedia: los coches híbridos, en los que se combinan un motor de combustión interna y otro eléctrico, que se alternan en la función de impulsarlos.

El objetivo del desarrollo de las tecnologías híbridas es combinar dos fuentes de energía distintas, para que las cualidades de cada sistema sean utilizadas bajo condiciones de generación variables, de tal forma que las ventajas globales del desarrollo del sistema híbrido pesen más que el costo de su configuración.

A continuación se presenta una clasificación de los vehículos híbridos, una descripción de la tecnología que incluye ventajas y desventajas de este tipo de vehículos, algunos casos prácticos y, por último, una descripción del sistema híbrido del tipo turbina eléctrica.

### 5.1. Soluciones MCI-eléctricas

Aquellos híbridos que combinan un motor de combustión interna (MCI) y un motor eléctrico. Son los únicos sistemas híbridos que han tenido un desarrollo serio. Existen dos tipos básicos: híbridos en serie e híbridos en paralelo.

### 5.1.1. Motores en serie

Utilizan el MCI acoplado a un generador, el que produce electricidad para el motor eléctrico que acciona el giro de las ruedas. Es llamado híbrido en serie pues el flujo de energía se mueve en línea directa. Al estar el MCI desacoplado de la tracción, es posible que opere a una velocidad constante en una vecindad próxima a su punto óptimo de operación en términos de eficiencia y emisiones, mientras carga la batería.

Una desventaja del sistema es que la energía debe ser convertida varias veces, y la eficiencia mecánica entre el MCI y el eje de tracción es difícilmente superior al 55% (esto incluye la eficiencia de almacenamiento de la batería). Otra desventaja es que requiere un motor más grande y pesado que en el sistema en paralelo, lo que no presenta graves consecuencias en autobuses para transporte público.

### 5.1.2. Motores en paralelo

Utilizan tanto el MCI como el eléctrico para accionar la tracción, y asignan la energía de cada uno de acuerdo con las condiciones de la conducción. Es llamado híbrido en paralelo, pues la energía fluye en líneas paralelas. En este sistema, el MCI puede accionar la tracción al mismo tiempo que carga las baterías. Estos tipos de vehículos son los más populares y sobre los que más se investiga.

La tecnología híbrida fue diseñada para operar en zonas urbanas en las que existan problemas de contaminación ambiental, por lo que el sistema híbrido es muy adecuado para cumplir con el objetivo de la reducción de emisiones contaminantes atmosféricas, especialmente en autobuses de transporte público. También operan únicamente como vehículo eléctrico, con la energía guardada en las baterías, tienen una autonomía de 80 km a 200 km.

## 5.2. Elementos característicos

### Sistema de frenos regenerativo

Al desacelerar o frenar, el motor eléctrico actúa como generador, recupera la energía cinética desde las ruedas, y la convierte en electricidad que puede ser guardada en la batería. Requieren frenos de fricción tradicionales, así como un sistema de control electrónico que permita maximizar la recuperación de la energía, y pueda operar el sistema dual de frenos. Sistemas comerciales en uso permiten recuperar alrededor de un 30% de la energía cinética típicamente perdida, como calor en frenos de fricción. La energía recuperada al freno puede reducir el consumo energético en un 15% si se conduce por la ciudad.

### Generador

Un generador sincrónico de corriente alterna produce la electricidad para cargar las baterías. Funciona también como motor de partida para el motor diésel.

### Motor eléctrico

Un motor sincrónico de corriente alterna, compacto, de bajo peso y alta eficiencia.

### Inversor

El inversor cambia la corriente continua de la batería en corriente alterna para mover el motor eléctrico, y cambia la corriente alterna del generador en corriente continua para cargar la batería. También varía la frecuencia de la corriente, que depende de las revoluciones del motor eléctrico para maximizar la eficiencia. El inversor debe ser enfriado por agua.

### Divisor de potencia (híbridos en paralelo)

El sistema híbrido en paralelo necesita de un divisor de potencia, que utiliza un engrane planetario que distribuye el giro del motor C.I. entre la tracción y el generador. Controlando las revoluciones del generador, el divisor funciona también como una transmisión continua y variable.

### Baterías

Se utilizan las baterías diseñadas para vehículos eléctricos, que requieren una alta densidad de energía, peso liviano y una larga vida.

### Ultracapacitores

Se ha desarrollado también la tecnología de ultracapacitores para el almacenamiento de la energía. Al no depender de reacciones químicas (como las baterías) pueden ser cargados y descargados rápidamente. El ultracapacitor entrega la energía almacenada en él, como un pulso eléctrico poderoso. Actualmente se encuentran en etapa de desarrollo comercial. También operan únicamente como vehículo eléctrico, con la energía guardada en las baterías, tienen una autonomía de 80 km a 200 km.

## 5.3. Ventajas de los vehículos híbridos

- **No necesitan de carga externa.** Al contrario que los autos eléctricos, los híbridos no necesitan una carga externa, por lo que no tienen los problemas de autonomía de los vehículos eléctricos. El único abastecimiento que precisan es combustible, como los vehículos diesel convencionales, pero en una menor cantidad.
- **Evitan consumos en paradas.** Los vehículos híbridos arrancan y detienen el MCI según lo requerido.

Cuando el vehículo está parado o marcha a baja velocidad, el motor de combustible se apaga. Los sistemas convencionales requieren que el motor sea diseñado para responder a los picos de la demanda; sin embargo, el vehículo usualmente opera a niveles significativamente menores, lo que implica que los motores sean mayores de lo necesario para gran parte de la operación, por lo que consumen más combustible y generan mayores emisiones. En los sistemas híbridos, los picos de demanda pueden ser satisfechos por la potencia de las baterías en combinación con el motor.

- **Menores emisiones.** La reducción de emisiones, comparado con un vehículo tradicional, es del orden de 90% para los gases reactivos (NOx), 70% para los químicos reactivos volátiles (VOC), 30% para el monóxido de carbono (CO) y 100% para partículas (Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile).
- **Comparación de la marcha con MCI convencional.** Un autobús híbrido en serie permite al motor diesel trabajar de forma constante bajo condiciones óptimas, reduciendo consumo y emisiones. Un vehículo híbrido puede recorrer el doble de la distancia que uno tradicional con la misma cantidad de energía. El motor de combustión interna es ineficiente, no solo debido a las pérdidas al transformar la energía desde el combustible al tren de tracción, sino que también es ineficiente cuando el vehículo no se encuentra en movimiento y el motor está en marcha.

#### 5.4. Inconvenientes de los vehículos híbridos

- **Emisiones.** Los híbridos no son vehículos de cero emisiones. Más aún, como el rendimiento de emisiones de un motor de combustión tiende a deteriorarse con el tiempo, las emisiones de contaminantes probablemente aumentarán con la antigüedad del vehículo.
- **Costo.** Los vehículos híbridos, al tener dos sistemas de generación, son más complejos y costosos de construir.
- **Baterías.** Las baterías están sujetas a altas cargas específicas, que incrementan las pérdidas internas y hacen necesario el uso de equipos auxiliares para el sistema de baterías.

### 5.5. Algunas experiencias prácticas

#### 5.5.1. Experiencias de cinco autobuses híbridos en Aalborg (Dinamarca)

La implementación del proyecto comenzó en enero de 1997 cuando cinco autobuses híbridos de 12 m fueron puestos en servicio. Especificaciones principales: motor de tracción: dos motores eléctricos de corriente alterna, cada uno de 75 kW; motor /generador: motor petrolero Saab, 2.0 l acoplado a un generador de corriente continua; Baterías: 10 de níquel-cadmio (Ni-Cd) colocadas en el techo del autobús, al estar totalmente cargadas, el voltaje es de 400 W; inversor: transforma los 400 W a corriente alterna de tres fases.

La introducción de estos autobuses permite alcanzar el objetivo de emisiones locales cero, aunque a costa de desplazar estas emisiones a otras áreas de la ciudad.

#### 5.5.2. Servicio de autobuses híbridos en Nueva Zelanda

Modelo Shuttle, empezó operaciones en diciembre de 1998. Es una versión de 20 asientos del híbrido-eléctrico Olymbus construido en Ashburton, Australia.

Características: De tipo híbrido en serie; baterías: 54 baterías de sólido-gel, enfriadas por agua; motor/generador: motor diésel europeo de bajas emisiones que gira a velocidad constante.

Rendimiento similar al autobús diésel de ciudad, pero al estar en estado estacionario en el tráfico pesado, no utiliza energía y por lo tanto no crea emisiones.

#### 5.5.3. Bus híbrido Toyota: Coaster

Tipo híbrido en serie, equipado con motor gasolina compacto de 1.5 l. 24 pasajeros.

#### 5.5.4. Venta de cinco autobuses híbridos de Nova BUS Corporation a New York Transit Authority en 1999

Esta tecnología es la culminación de cinco años de desarrollo, y significa la primera venta para Nova BUS Corporation.

Los autobuses utilizan un motor diésel de 160 CV de potencia, (en inglés horse power HP) para generar electricidad y almacenarla en baterías. El sistema es híbrido en paralelo, de forma que al necesitar una intensa aceleración tanto el pack

FIGURA 14  
Autobús híbrido Nova.



Fuente: Ise Corporation.

de baterías como el motor C.I. proveen de la energía necesaria. Esto permite tener un motor de 160 HP en vez de uno estándar de 250 HP.

La compañía pertenece al grupo Volvo Bus Group de Suecia y al grupo Henlys Group de Gran Bretaña.

#### 5.5.5. Magnet - Motor. GMBH de Alemania

Utiliza un motor diésel de un tercio del tamaño de uno normal, ocupando un volante para soportar las condiciones de aceleración. Autobuses experimentales con esta tecnología se encuentran operando en Munich.

#### 5.5.6. Toyota Prius

El Prius fue el primer vehículo híbrido fabricado en serie cuando apareció en Japón en 1997. Está dotado de un motor de gasolina de 1,5 l (se esperan futuras versiones con motor diésel) que trabaja coordinadamente con un motor eléctrico en una configuración denominada híbrida. El motor eléctrico ayuda al de gasolina a encontrar condiciones ideales de funcionamiento y, bajo ciertas circunstancias y por determinados lapsos, puede mover independiente-

mente al automóvil, el cual entonces se desplaza sin consumir combustible y reduciendo significativamente el ruido producido.

El motor eléctrico se alimenta de una serie de baterías que se recargan mientras el automóvil está en movimiento (lo que se conoce como Hybrid Synergy Drive) y por lo tanto no requiere una fuente externa, problema que sufren los vehículos eléctricos que tienen que ser enchufados periódicamente para recargarse.

Otra estrategia de ahorro de combustible es que el motor de gasolina se apaga en las constantes detenciones que se sufren en el tránsito urbano.

El Prius supera los problemas de poca autonomía, largo tiempo de recarga y escasas prestaciones de los vehículos eléctricos y se convierte en el automóvil con motor de combustión interna de más alto rendimiento y más bajas emisiones disponible en la actualidad, de acuerdo con la normativa de la Unión Europea. Sus especificaciones señalan un rendimiento de 96 km por unidad de aceleración  $g$  en ciclo urbano y aunque estos números generalmente son difíciles de alcanzar en el uso real, indican que el Prius casi dobla el rendimiento de vehículos convencionales en comparación.

FIGURA 15  
Vehículo híbrido Toyota Prius.



Fuente: Toyota.

### 5.5.7. Porsche Cayenne híbrido

Antes del 2010, Porsche prevé lanzar un modelo híbrido del Cayenne. Estaría formado por un motor de gasolina y uno eléctrico, que podrían funcionar a la vez o por separado, por lo que contarán con dos diferentes embragues.

Para modularlo, la unidad de gestión electrónica del vehículo controlará la posición del acelerador para optimizar el uso de los dos motores.

El motor eléctrico, funcionando sin el de gasolina a la vez, permitirá viajar a una velocidad de hasta 30 km/h y además recargarse a sí mismo utilizando el efecto del freno motor.

### 5.6. Sistema híbrido del tipo turbina-eléctrico

La utilización de una microturbina en reemplazo de un MCI en un vehículo híbrido eléctrico ofrece ventajas adicionales a la configuración híbrida.

Las turbinas tienen una operación casi silenciosa, y por ser motores rotatorios, ofrecen una operación casi libre de vibraciones. Además, las turbinas poseen mayores temperaturas de operación, lo que permite una combustión más completa del combustible, que a su vez repercute en menores emisiones.

Este sistema se encuentra en etapa de desarrollo, pero tiene muy buenas expectativas, debido a su versatilidad y a la disminución de emisiones contaminantes.

## 6. Vehículos con pila de combustible

Las pilas de combustible fueron inventadas en 1839 por Sir William Grove y posteriormente, en los 60, la NASA aceleró su desarrollo para proporcionar energía eléctrica a las naves espaciales Apollo y Gemini. Sin embargo, el gran desarrollo de esta tecnología a escala mundial se ha producido en los últimos cinco años.

Actualmente, hay más de 6.800 pilas de combustible instaladas en el mundo, lo que supone un incremento del 300% en los últimos dos años. Dentro de las tecnologías utilizadas, el 72% de las pilas de combustible instaladas son de tipo PEM, lo que consolida esta tecnología como la más prometedora para un gran número de aplicaciones.

Se habla de la pila de combustible como la solución con más futuro del vehículo con propulsión eléctrica. De momento son varias las ciudades, entre ellas Madrid y Barcelona, que están experimentando con autobuses este tipo propulsión y su número va incrementándose día a día. Funcionan con hidrógeno como combustible y toman el oxígeno del aire produciendo una contaminación cero porque como residuos se obtiene agua. Sin embargo, se calcula que para que se pueda garantizar la autonomía de los vehículos de hidrógeno previstos por los principales fabricantes en la próxima década, al menos el 5% de las estaciones de servicio convencionales deberían contar con algún surtidor preparado con hidrógeno.

## 6.1. Transformación de la energía

Las pilas o células de combustible se forman con la asociación de varias pilas, y configuran un paquete o stack. La tensión de salida de cada pila es pequeña (del orden de un voltio), pero la intensidad y el rendimiento son muy altos; de modo que asociando varias en serie se obtiene una tensión más elevada. La pila de combustible es un dispositivo electroquímico que permite transformar directamente la energía química resultante de una reacción de oxidación de un combustible en energía eléctrica, de forma continua y con una alta eficiencia. Al contrario que las populares baterías de acumuladores, que almacenan una cantidad fija de energía entre sus electrodos, las pilas de combustible siguen funcionando mientras se las alimenta con combustible y oxidante.

## 6.2. Ventajas de la pila de combustible

- **Altas eficiencias en la utilización del combustible.** El hecho de la conversión directa del combustible a energía a través de una reacción electroquímica, hace que las pilas de combustible puedan producir más energía con la misma cantidad de combustible si se compara con una combustión tradicional. El proceso directo hace que las eficiencias puedan alcanzar entre un 30% y un 90%, dependiendo del sistema de pila de combustible y además se puede emplear el calor adicional producido. La generación de energía basada en la combustión convierte previamente el combustible en calor, limitándose el proceso a la ley de Carnot de la Termodinámica y después a energía mecánica, que produce movimiento o conduce a que las turbinas

produzcan energía. Los pasos adicionales implicados en la combustión hacen que la energía escape en forma de calor, fricción y otras pérdidas de conversión, y causan una disminución de la eficiencia del proceso global. Las pilas de combustible al no ser máquinas térmicas, no limitan su rendimiento por el ciclo de Carnot y se puede alcanzar teóricamente el 100%. Únicamente las limitaciones en el aprovechamiento de la energía generada y en los materiales empleados en su construcción impiden alcanzar este valor.

- **Emisión cero de contaminantes.** Cuando el combustible es hidrógeno, los productos obtenidos en la reacción electroquímica catalizada de la pila de combustible entre el hidrógeno y el oxígeno son agua, calor y electricidad, en lugar de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otras partículas inherentes a la combustión de combustibles fósiles. Para extraer hidrógeno puro, los combustibles fósiles deben pasar primero por un reformador. En este proceso las emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros contaminantes, son solamente una fracción de aquellos producidos en la combustión de la misma cantidad de combustible.
- **Funcionamiento silencioso.** Al carecer de partes móviles, se ha calculado que el nivel de ruido a 30 m de una pila de combustible de tamaño medio es únicamente de 55 dB. Es por ello por lo que podrían usarse pilas de combustible en recintos urbanos.
- **Admisión de diversos combustibles.** Cualquier combustible si incluye hidrógeno en su composición puede ser reformado. Pueden emplearse para este proceso; por ejemplo, gas natural, carbón gasificado, gasóleo o metanol.
- **Flexibilidad de emplazamiento.** Las celdas de combustible, con su inherente operatividad sin ruidos, emisión cero y requerimientos mínimos, pueden ser instaladas fácilmente.
- **Simplicidad del dispositivo.** Las pilas de combustible carecen de partes móviles. La falta de movimiento permite un diseño más simple, mayores fiabilidad y operatividad y un sistema que es menos propenso a estropearse.

## 6.3. Inconvenientes de la pila de combustible

- Alto coste destinado a los sistemas de almacenamiento y suministro (de hidrógeno, metanol o gas natural).

- Alto peso de las pilas de combustible para los prototipos actuales.
- La producción de algunos componentes, al no efectuarse a gran escala, implica un coste elevado. Se calcula que un coche con pila de combustible cuesta un 30% más que uno de gasolina o diésel con prestaciones similares.

## 6.4. Algunas experiencias prácticas

### 6.4.1. Estación de servicio de hidrógeno

En el marco del proyecto Europeo CUTE -en español sus siglas significan Transporte Urbano Limpio para Europa-, se habilitaron tres autobuses con pila de combustible alimentados por hidrógeno en la Comunidad de Madrid. El grupo H2 formado por Repsol YPF, Gas Natural SDG y Air Liquide puso en marcha la primera hidrogenera (estación de servicio de hidrógeno) de España, con producción in situ, situada en las dependencias de la EMT de Madrid. El hidrógeno se produce a partir de gas natural (proceso de reformado) y posteriormente se comprime a 200 bar, para su almacenamiento, pudiendo abastecer a los autobuses para sus rutas diarias en menos de ocho minutos.

### 6.4.2. Cofinanciación DG TREN-CE Autobuses-proyectos CUTE y CITYCELL

Ambos proyectos han tenido como objetivo el poner en funcionamiento autobuses de línea de la empresa municipal de transporte (EMT) que funcionan con pila de combustible e hidrógeno y han sido parcialmente financiados por la Comisión Europea. El proyecto CUTE ha puesto en marcha tres autobuses que actualmente prestan servicio por las calles de Madrid. El proyecto europeo CITYCELL construyó el primer autobús híbrido que combina baterías convencionales con una pila de combustible. Los autobuses repostan el hidrógeno a diario en la estación de servicio anteriormente mencionada.

### 6.4.3. Cofinanciación DG TREN-CE Proyecto Ciclopila

Con la participación de la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), el centro de innovación y tecnología CARTIF, y las empresas ENERMAN, MEYRA y liderado por la empresa BESEL, se ha diseñado y fabricado la primera silla de minusválidos en España propulsada con pila de combustible tipo PEM, siglas inglesas de Proton Exchange Membrane. El sistema tiene una autonomía mucho mayor que los

FIGURA 15  
Primera silla de ruedas propulsada con pila de combustible tipo PEM.



Fuente: BESEL S.A.

sistemas basados en baterías, además de reducir peso y volumen. La principal ventaja del prototipo es la posibilidad de poder recargar rápidamente el tanque de hidrógeno que alimenta la pila de combustible, en lugar de tener que cargar durante varias horas las baterías convencionales.

### 6.4.4. Cofinanciación ADE y PROFIT Proyecto FIRST

En el marco del proyecto europeo Fuel cell Innovative Remote System for Telecom, FIRST, un consorcio formado por CIEMAT, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), junto con otras entidades europeas, han diseñado y construido una instalación de demostración para suministro energético de un sistema aislado. El sistema aprovecha el exceso de radiación solar para producir hidrógeno que, a través de una pila de combustible polimérica (PEMFC), proporciona energía eléctrica a un equipo de telecomunicaciones.

### 6.4.5. Cofinanciación DG Investigación - CE Proyecto EFECTIVE

Es un proyecto financiado por la Comisión Europea cuyo objetivo es estudiar el potencial del biogás como combustible utilizando una pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC). Los estudios se han llevado a cabo en Alemania, Austria, Eslovaquia y España. El demostrador español se ha instalado en la planta de biometanización, para tratamiento de residuos sólidos urbanos, que la Comunidad de Madrid tiene en Pinto. La planta es operada por la empresa Urbaser, uno de los socios del proyecto europeo.

#### 6.4.6. Cofinanciación DG Investigación - CE El proyecto HYCHAIN

Es uno de los principales proyectos europeos en el ámbito de la demostración de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. Co-financiado por la Unión Europea y liderado por Air Liquide, en la que la empresa española BESEL es la responsable de llevar a cabo la coordinación del proyecto en los ámbitos europeo e internacional, llevar a cabo las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) y desarrollar un programa de formación.

El proyecto HYCHAIN MINI-TRANS desplegará varias flotas de vehículos de pequeña y mediana potencia, accionados mediante pilas de combustible innovadoras, en cuatro regiones de Europa (en Francia, España, Alemania e Italia) entre 2008 y 2011 que operarán con hidrógeno como fuente alternativa de combustible. Dichas flotas están basadas en plataformas de tecnología modular y similar para diferentes aplicaciones, con el objetivo principal de lograr un volumen suficientemente grande de vehículos (por encima de 158) para obtener en términos industriales una posible reducción de costes y superar barreras sectoriales y regionales. Este proyecto está pensado para empezar una nueva etapa en el sector del transporte y por ello los primeros casos de desarrollo sostenible para hidrógeno basado en pilas de combustible en Europa se iniciarán en lugares donde se obtengan las mayores probabilidades de continuar y crecer más allá de este proyecto.

El proyecto se desarrollará en cuatro pasos; comenzará a partir de los prototipos existentes de cinco aplicaciones de pilas de combustible de baja potencia que cumplan las siguientes características:

- 1) Serán optimizadas en diseño y funcionalidad.
- 2) Se desarrollarán las líneas de fabricación precomerciales para reducir costes, a la vez que se mejora la calidad.
- 3) La logística del hidrógeno requerido y servicios asociados (tales como transporte, distribución, dispensación) se establecerá teniendo en cuenta soluciones innovadoras de almacenamiento recargable de fácil sustitución.
- 4) Se desplegarán en cuatro regiones de Europa, una red de sub-proyectos de las mismas características, que emplean vehículos de demostración similares. Este desarrollo permitirá obtener una gran variedad de usuarios finales, atraídos por la vía de costes competitivos, que proporcionarán condiciones favorables para lograr una reducción significativa tanto en los costes de fabricación como de operación.

El desarrollo tecnológico está complementado con una investigación socio-económica, con el objetivo de aumentar el conocimiento público y superar las principales barreras

FIGURA 17

Logo del proyecto Hychain.





actuales, como la aceptación social, la falta de certificaciones, la formación, etc. Las actividades de diseminación y explotación proporcionarán el marco para mantener el impulso y dar lugar a un crecimiento sostenible del mercado en diversas líneas de aplicación.

El proyecto abrirá el camino para lograr el desarrollo masivo de hidrógeno, utilizándolo como solución al almacenamiento de energía y a las pilas de combustible como convertidores eficientes de energía.

FIGURA 18  
Flota de vehículos del proyecto Hychain.



Fuente: BESEL S.A.





08 | Energías Renovables:  
Eólica y Marina

## 1. Historia de la energía eólica

172

El objetivo común a todas las aplicaciones de la energía eólica es el aprovechamiento de la propia energía que posee el viento, el cual es un recurso energético natural que puede alcanzar cotas de utilización interesantes y que además es gratuito. Esta energía del viento se ha utilizado a lo largo de la historia con múltiples usos: agricultura, transporte marítimo y, por supuesto, generación de energía eléctrica.

Los primeros empleos de la energía del viento fueron realizados por los persas hacia el 500-900 antes de Cristo. Éstos molían grano y bombeaban agua por medio de molinos de eje vertical. Este molino se cubría en su mitad tras un muro, girando las palas gracias a la fuerza del viento. Por razones de optimización de materiales, por las técnicas de fabricación disponibles en la época o bien por mayor duración frente a la meteorología, si se quería disponer de mayor potencia no se construían molinos de mayor tamaño, sino que se aumentaba el número de ellos con un tamaño estándar.

Se usaba una pantalla de mampostería para reducir la fuerza de incidencia del viento sobre el molino. De esta manera se obtenía un par neto sobre el eje al estar expuestas al viento las palas que avanzan a sotavento. El inconveniente de este diseño es que sólo se podía aprovechar el viento si éste venía de una dirección determinada. No obstante, en las regiones del imperio persa donde se utilizaron estos molinos, esto no era un problema porque los vientos eran de dirección dominante. La potencia se controlaba por medio de contrapuertas en el muro o en las propias aspas del molino.

Las posibles influencias que adoptaron los persas para la realización de este diseño pudieron venir de China, donde se utilizaron con anterioridad máquinas parecidas llamadas panémonas, o del propio molino hidráulico o bien de las mismas velas de los barcos.

En Europa, no fue hasta el siglo VII que aparecieron máquinas de eje horizontal con cuatro aspas. Estas máquinas venían del Este y eran ideales para vientos del orden de 5 m/s. Se fabricaron en Holanda en gran número a pesar de que el diseño de sus aspas no era el óptimo para obtener la máxima potencia, por lo que necesitaban una regulación de la orientación de la tela, lo cual es común para estos molinos de eje horizontal que trabajan frente al viento.

En Irán, Turquía y Afganistán aparecieron los más antiguos molinos de viento para molienda de grano y la elevación de agua a principios del siglo XII. La generalización de dichas máquinas llegará a lo largo de los siglos XII y XIII.

Los molinos con elevado número de palas determinan velocidades de rotación relativamente bajas y presentando a

partir de velocidades de viento del orden de 2 m/s un funcionamiento útil. Europa se llenó de molinos en el mencionado siglo XIII, aunque el modelo de molino no era igual en todos los puntos del Viejo Continente: en Holanda los molinos presentan cuatro aspas de lona, en Portugal y Baleares seis y en Grecia, doce.

El molino torre se desarrolló en el siglo XIV. Este diseño destacaba por su mayor solidez y duración. La parte inferior de estas máquinas es una torre de ladrillo o piedra, siendo la parte superior la giratoria ya que incluye el rotor. La orientación de las aspas de estos molinos llegó a realizarse de forma automática. El molino de cola ha sido el más efectivo. Éste consiste en un eje horizontal con aspas de pequeño tamaño, el cual es perpendicular a las aspas principales. El rotor de direccionamiento se detenía cuando recibía el viento de lado. En ese momento el rotor de potencia quedaba encarado al viento. Si la dirección del viento cambiaba, el rotor de direccionamiento giraba hasta que de nuevo se alcanzaba el correcto encaramiento del rotor de potencia.

El bombeo de agua, la extracción de mineral, los trabajos en herrerías, el movimiento en serrerías... son sólo algunas de



Molino Torre.

las aplicaciones del molino occidental. Esta máquina y la turbina hidráulica sentaron los comienzos de la Revolución Industrial en entornos de minas y artesanos próximos a los ríos, no generalizándose la máquina de vapor hasta bien entrada la Revolución Industrial, debido a la imposibilidad de transmisión de potencia a larga distancia. La potencia máxima de estas dos máquinas estaba entre los 7 kW y los 15 kW. La potencia en los molinos occidentales se controla por el uso de contrapuertas de madera en las aspas o por la cantidad de las mismas recubiertas de tela.

En las zonas cristianas del medioevo fue donde aparecieron los primeros vestigios de molinos de viento en la península Ibérica. Quedan gran cantidad de restos de molinos de los siglos XVI - XIX en Huelva, Cádiz, Cartagena, Mallorca, La Mancha, etc.

No fue hasta 1850, con el acontecimiento de la dinamo, que realmente se empezó a desarrollar la transformación de energía eólica en eléctrica. Antes de este año, en 1802, ya se realizaron los primeros pasos de transformación energética, realizando Lord Kelvin la asociación de un aerogenerador eléctrico a un aeromotor.



**Primera turbina eólica para generación de electricidad construida por Charles Brush.**

Fuente: windpower.org

El llamado "molino americano" se trata de un pequeño rotor multipala acoplado a una bomba alternativa para el bombeo de agua en zonas rurales. Esta máquina se desarrolló durante la segunda mitad del siglo XIX, fabricándose más de seis millones de unidades y extendiéndose su funcionamiento por todo el mundo.

Charles Brush, en 1887, construyó la que hoy se cree es la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad. Con un diámetro de rotor de 17 m y 144 palas fabricadas en madera de cedro, era la más grande del mundo. La turbina funcionó durante 20 años cargando baterías. A pesar de su tamaño, el generador era solamente un modelo de 12 kW.

El danés Paul la Cour determinó, años después, que las turbinas eólicas de giro rápido con pocas palas de rotor son más eficientes que las de giro lento para la producción de electricidad.

La aplicación de los conocimientos de aerodinámica desarrollados en aviación supuso un impulso tecnológicamente determinante en las primeras décadas del siglo XX, al aumentar de forma sensible el rendimiento de estas máquinas. Entre las guerras mundiales se realizaron proyectos de grandes aerogeneradores de dos o tres palas, sobre todo de dos por su menor coste, derivados de los progresos técnicos de hélices de avión. También se pensó en emplear una única pala equilibrada con un contrapeso.

En 1941, los estadounidenses, y más concretamente la NASA, construyeron un bipala de 53 m de diámetro, previsto para una potencia máxima de 1.250 kW, que se instaló en Vermont, en el noreste de Estados Unidos. Las primeras pruebas, iniciadas en octubre de 1941, continuaron durante unos 15 meses. Un pequeño incidente en 1943 bloqueó la máquina durante dos años, ya que las dificultades ligadas a la guerra retrasaron la fabricación de piezas nuevas. Vuelto a poner en marcha, el aerogenerador proporcionó corriente al sector durante 23 días; luego se rompió una de las palas y se abandonó el proyecto.

La mayor máquina eólica construida en este periodo fue la construida por la empresa Smith-Putman, de Estados Unidos, en 1945, con una potencia de 1.250 kW y palas de paso variable. Funcionó cientos de horas hasta que una de las palas se rompió.

Aunque la construcción de aerogeneradores se ralentizó debido a la rápida expansión del motor de explosión y los bajos costos del petróleo, en Francia, un vasto programa patrocinado por Electricité de France realizó un estudio del viento en todas las regiones y construyó varios grandes aerogeneradores experimentales. El aerogenerador Best Romani tripala de 30 m de diámetro con chapas de aleación ligera fue

instalado en Nogent-le-Roy, en Beauce. Podía proporcionar 800 kW a la red, con un viento de 60 km/h. Esta máquina experimental aportó entre 1958 y 1962 gran información sobre su funcionamiento en condiciones reales de explotación. La compañía Neyrpic instaló en Saint-Rémy-des-Landes (Manche) dos aerogeneradores de tres palas. El primero, de 21 m de diámetro y que producía 130 kW de potencia, funcionó hasta marzo de 1966. El otro, de 35 m y previsto para producir 1.000 kW, proporcionó una potencia satisfactoria durante las pruebas, pero en 1964 se abandonó el programa de estudios.

En la década de los setenta, la crisis generada por los altos precios del petróleo impuestos por los países productores y los signos claros de problemas derivados de la contaminación dieron un nuevo impulso al desarrollo de las energías renovables, y especialmente la eólica, en los países de Europa y América del Norte.

En este nuevo marco se desarrollaron prototipos de máquinas de elevada potencia, por encima de los 2.000 kW, especialmente en Estados Unidos, a la par que renacía una importante industria productora de máquinas perfectamente operativas y rentables, en la gama de potencias de 100 kW a 500 kW. Estas máquinas se han ido instalando en gran número, agrupadas en zonas favorecidas por el viento, constituyendo lo que se ha dado en llamar "parques eólicos".

## 2. Principio general de funcionamiento

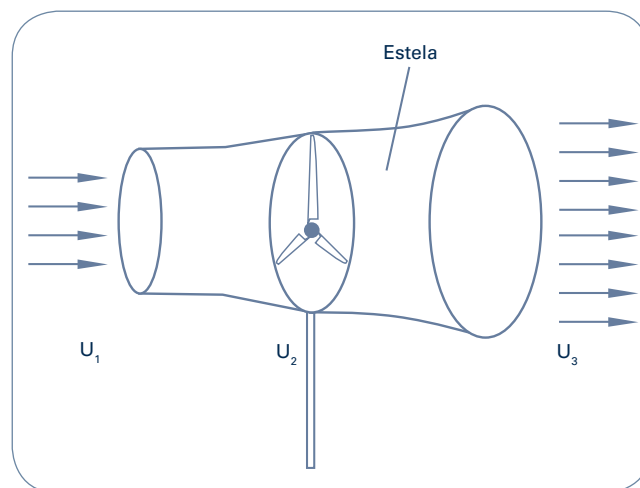
El modelo más simplificado de una aeroturbina fue diseñado por Betz (1926). Este modelo permite calcular la potencia y la fuerza de empuje que produce el viento sobre el rotor utilizando un modelo unidimensional muy simplificado.

En la figura 1 se muestra la aeroturbina del modelo de Betz. Las líneas exteriores de la figura delimitan un tubo de corriente. El aire entra a este tubo de corriente con velocidad  $U_1$ , pasa a través del rotor de la aeroturbina con velocidad  $U_2$  y abandona el tubo de corriente con velocidad  $U_3$ . La zona que se encuentra detrás de la aeroturbina se denomina estela.

La forma del perfil aerodinámico de las palas de una turbina tiene una importancia clave en los parámetros de funcionamiento de una turbina, tales como la potencia máxima y las propiedades estructurales.

La simulación numérica del flujo de fluidos, denominada Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), ha experimentado un avance muy importante en las últimas décadas.

FIGURA 1  
Tubo de corriente de la aeroturbina en la teoría unidimensional de Betz.



Fuente: Universidad de Zaragoza.

El cálculo experimental de los coeficientes de arrastre y sustentación se realiza en los llamados túneles de viento. Generalmente se utiliza el análisis dimensional y la semejanza física para realizar un ensayo sobre un modelo a escala reducida de la pala de la aeroturbina. En la figura 2 se muestra uno de estos túneles de viento.

FIGURA 2  
Túnel de viento.



### 2.1. Tipos de rotor y funcionamiento

Existen dos tipos de rotor, de eje horizontal y de eje vertical. El primer tipo consta de una hélice o rotor acoplado a una góndola, donde se localizan el alternador y la caja de engrajes. La góndola va montada sobre una torre metálica o de hormigón.



Aerogenerador de eje vertical (tipo Darrieus).



Aerogeneradores de eje horizontal.

Fuente: EUFER.

La turbina Darrieus consiste en un número de perfiles montados verticalmente sobre un eje giratorio. Este diseño fue patentado por Georges Jean Marie Darrieus en 1931.

La turbina Savonius fue inventada por el ingeniero finlandés S. J. Savonius en 1922. Aerodinámicamente, éste es un mecanismo de arrastre consistente en dos o tres palas.

Los generadores de eje vertical (VAWT, vertical axis wind turbines) tienen como desventajas una menor eficiencia, la necesidad de desmantelamiento para reemplazar el eje y el no autoarrancado. Por otro lado, la mayor ventaja de estos generadores verticales es la accesibilidad de la multiplicadora y el generador, además de la no necesidad de mecanismos de orientación.

El funcionamiento básico de un aerogenerador es, desde el punto de vista conceptual, muy simple. El viento, al hacer girar las palas del rotor, genera una energía cinética que se transmite, a través del eje principal, al alternador cobijado en la góndola. Se genera una corriente eléctrica que es transmitida mediante cables conductores a un centro de control, donde se almacena en acumuladores o se distribuye a los centros de consumo o se evacua hacia la red de transporte de energía eléctrica.

En las turbinas de eje horizontal existen dos posibilidades de situación del rotor. Éste puede estar situado a barlovento o a sotavento. Sotavento es en la dirección dominante y barlovento es en la dirección opuesta a la dominante del viento. La inmensa mayoría de las turbinas grandes llevan rotor a barlovento.

En el caso de situación del rotor a barlovento, el rotor estará situado delante de la torre en el sentido de movimiento del viento, por lo que éste recibe un flujo relativamente libre de distorsiones por la propia torre, lo que provoca que los efectos de las cargas de fatiga sobre las palas del rotor sean menores debido al menor efecto sombra de la torre. El inconveniente

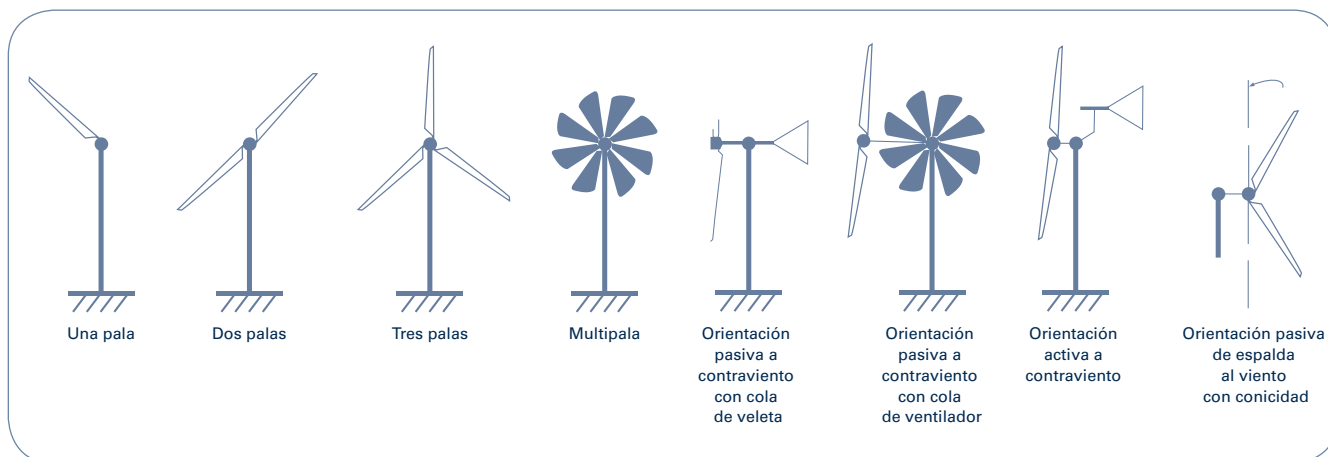


Aerogenerador de eje vertical (tipo Savonius).

Se muestra a continuación una turbina eólica de eje horizontal, el cual es sensiblemente paralelo a la dirección del viento.

Estos generadores de eje horizontal (HAWT) necesitan alinearse con la dirección del viento, de forma que el viento sople paralelo al eje de rotación.

FIGURA 3  
Turbinas de eje horizontal con distinto número de palas.



Fuente: elaboración propia.

de este tipo de aerogeneradores de eje horizontal es que deben poseer un dispositivo de orientación. Además, las palas no deben ser muy flexibles para situarlas lejos de la torre.

En el caso de que el rotor esté situado a sotavento, la turbina puede autoorientarse, pero los efectos de cargas de fatiga de las palas del rotor son mayores dado que el efecto de sombra de la torre es significativo. Se produce una fluctuación en la energía producida cada vez que una pala pasa por la estela de la torre, lo que provoca que la fatiga sea superior. Respecto a la flexibilidad de las palas de este tipo de rotores, éstas pueden ser mucho más flexibles, lo que conlleva un ahorro en peso y una reducción de cargas en la torre.

Si el rotor gira de forma pasiva durante mucho tiempo en la misma dirección, podría darse un excesivo retorcimiento de los cables del generador. En turbinas pequeñas se usan anillos rozantes, pero en las grandes supondría un problema.

El componente más crítico de la turbina eólica son las palas. Éste es el elemento que genera el mayor coste de la máquina (aproximadamente el 30% de la inversión total) y el más problemático en el diseño. El rotor puede poseer una, dos, tres y hasta seis palas.

La elección entre dos y tres palas es un compromiso entre eficiencia aerodinámica, complejidad, coste, ruido y estética.

Las monopala necesitan un contrapeso para equilibrar el rotor.

Las de una y dos palas necesitan una mayor velocidad de rotación o una mayor longitud para conseguir la misma potencia de salida que una turbina de tres palas, pero pueden tener menor coste aunque un mayor impacto visual y acústico.

En los parques eólicos las turbinas suelen tener dos o tres palas y una velocidad de punta de pala entre 50 m/s y 70 m/s. Por su mayor eficiencia (del orden del 2% al 3% respecto a las de dos palas), menor efecto visual y acústico, a pesar de su superior coste, las turbinas de tres palas son las más usadas en Europa.

Considerando tipos similares de palas, los rotores con menor número de palas girarán a mayor velocidad, lo que repercutirá en una posible disminución del ratio de la multiplicadora aunque se incrementará el nivel de ruidos y de erosión.

Es importante destacar además que las fuerzas en un rotor de tres palas tienden a estar mejor distribuidas, siendo el buje más simple.

### 3. Estado del arte

En 2006, España tenía instalada una capacidad de energía eólica de 11.615 MW, siendo así el segundo país en el mundo en cuanto a producción (contando también con grandes empresas fabricantes de aerogeneradores de gran prestigio internacional) junto con Estados Unidos, y sólo por detrás de Alemania. En 2005, el Gobierno de España aprobó una nueva ley nacional con el objetivo de llegar a los 20.000 MW de producción en 2012.

La energía eólica en España batió el 19 de marzo de 2007 un nuevo récord de producción, al alcanzar los 8.375 MW a las 17:40 horas, gracias al fuerte viento que azotó gran parte de la Península. Desde hace unos años, en España es mayor la capacidad teórica de generar energía eólica que nuclear.



TABLA 1  
Distribución de la cuota de mercado entre las empresas fabricantes.

Fabricante	Cuota de mercado
Vestas	23,3% (1.812 MW vendidos en 2003)
GE Wind Energy	11,8% (1.503 MW)
Enercon	15,6% (1.273 MW)
Gamesa	11,7% (956 MW)
NEG Micon	10,5% (855 MW)
Bonus	6,8% (552 MW)
Reponer	3,6% (291 MW)
Nordex	3,0% (42 MW)
Mitsubishi	2,7% (218 MW)
Suzlon	2,2% (178 MW)

Fuente: IDAE

España y Alemania también llegaron a producir en 2005 más electricidad desde los parques eólicos que desde las centrales hidroeléctricas

### 3.1. Eólica terrestre

El mercado mundial de aerogeneradores está integrado por una treintena de compañías, pero el negocio está dominado por 10, que en conjunto acaparan el 95% del total.

En la actualidad, el desarrollo de las nuevas máquinas eólicas se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Tendencia al aumento de las potencias nominales.
- Empleo de materiales sintéticos en su construcción.

- Sofisticados sistemas electrónicos de control.
- Elevada fiabilidad.
- Reducción de costos de fabricación y explotación.

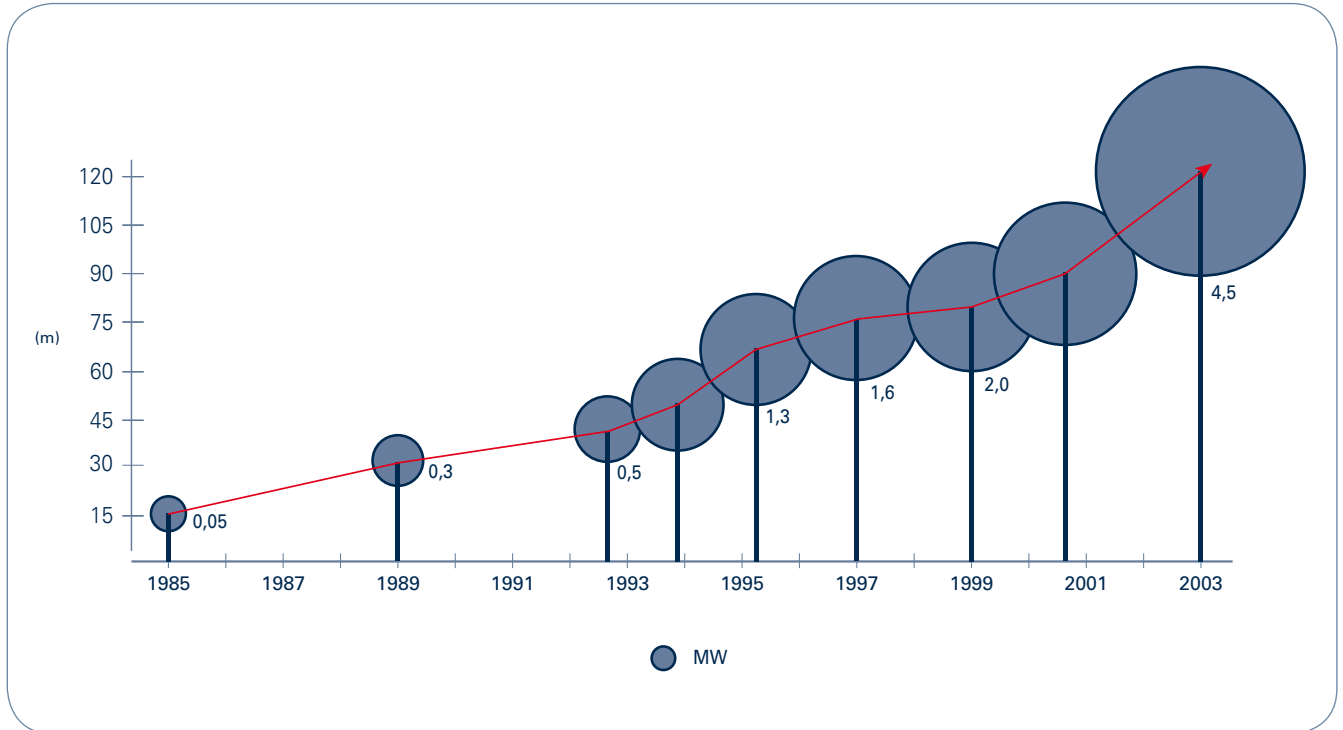
Los aerogeneradores más comunes utilizados son los de potencia de 2 MW, aunque en el mercado actual pueden encontrarse de potencias de hasta 3 MW y 4 MW comerciales, algunas marcas venden máquinas de 5 MW y existen incluso experimentos de aerogeneradores de hasta 10 MW.



Ejemplos de aerogeneradores más comunes.

Fuente: EUFER.

FIGURA 4  
Evolución de aerogeneradores desde 1985 hasta 2003.



Fuente: Enercon.

### 3.2. Eólica marina

Las principales ventajas de la energía eólica marina residen en:

- **Elevado potencial eólico** que ofrece el mar en superficies inmensas con altas velocidades de viento.
- **La mejor calidad de dicho recurso**, ya que la intensidad de turbulencia que posee el viento en el mar es mucho menor que la que tiene en tierra.
- **Menor impacto medioambiental**. El impacto visual y acústico sobre las personas es muy reducido, ya que se encuentra a gran distancia de los núcleos urbanos. Tampoco afecta a la vegetación y no se aprecia una afección importante sobre la vida animal.
- **Ubicación próxima al consumo**. Las zonas de costa son zonas de gran consumo de energía. Los aerogeneradores pueden situarse a pocos kilómetros de los puntos de consumo.
- **Sin limitaciones de transporte**. El transporte de componentes y maquinaria necesaria para la construcción pueden realizarse sin limitaciones del terreno.

Aunque todavía no se trate de una tecnología ampliamente extendida, existe una apuesta decidida por el desarrollo de la energía eólica marina. En algunos países como Alemania están comenzando a desarrollar sus primeras instalaciones a nivel experimental pero prevén un rápido desarrollo y expansión, a la vez que vaticinan el final de la expansión de las instalaciones terrestres, lo que conduciría a igualar las ambas tecnologías en lo que a potencia instalada se refiere.

A pesar de las dificultades que se presentan en el desarrollo de estas instalaciones, el potencial es tan elevado que podría abastecerse la mitad de toda la energía consumida en el mundo sólo con un parque eólico que abarcara todo el mar del Norte.

En Estados Unidos, el potencial se estima en 1.000 GW, de los cuales, más del 90% estaría situado en aguas profundas. También Japón podría multiplicar por 20 su potencial eólico si consigue desarrollar las instalaciones marinas.

La principal diferencia entre la tecnología marina y la terrestre es la complicación tecnológica de las estructuras de cimentación marinas. Los aerogeneradores se instalan sobre monopilotes o jackets enclavados en el fondo marino o posados por gravedad.

La tecnología disponible en cimentaciones marinas parte de la desarrollada previamente por el sector petrolífero para

instalación de plataformas de extracción. Existen tanto la tecnología de plataformas cimentadas como flotantes, pero no tienen aplicación directa en parques de energía eólica marina porque el ratio beneficio/coste es considerablemente mayor en una plataforma petrolífera que en una eólica.

La cimentación está condicionada por la batimetría local. Existen distintas tecnologías para profundidades bajas, medias o altas.

Hasta 30 m de profundidad se considera baja profundidad y es viable la instalación de monopilotes con la tecnología disponible a nivel comercial.

Entre 30 m y 50 m se considera profundidad media o profundidad de transición, y la tecnología es considerablemente más cara. Normalmente se recurre a trípodes de celosía.

A batimetrías mayores de 50 m se consideran aguas profundas, y no se dispone aún de la tecnología necesaria, que consistiría en plataformas flotantes de coste muy

inferior al de las plataformas petrolíferas. El mayor reto tecnológico es conseguir construir dichas plataformas económicamente viables pero suficientemente estables para albergar aerogeneradores en funcionamiento.

Se están experimentando distintas formas de construir soportes flotantes para aguas profundas. Principalmente se está trabajando en:

- Soporte flotante amarrado.
- Soporte flotante lastrado.
- Soporte flotante estabilizado.

#### 4. Política y planificación europea y española

Se observan tendencias divergentes entre España y el resto de países de la Unión Europea. Se ha aprobado una normativa europea que pretende alcanzar un 20% de producción de energías renovables en el año 2020, objetivo que es vinculante en todos los países de la Unión Europea (ver figura 5).

La figura que se muestra a continuación es un avance temporal en la regulación de las energías renovables en nuestro país.

#### 5. Participación en la generación y aportación a la cobertura de la demanda

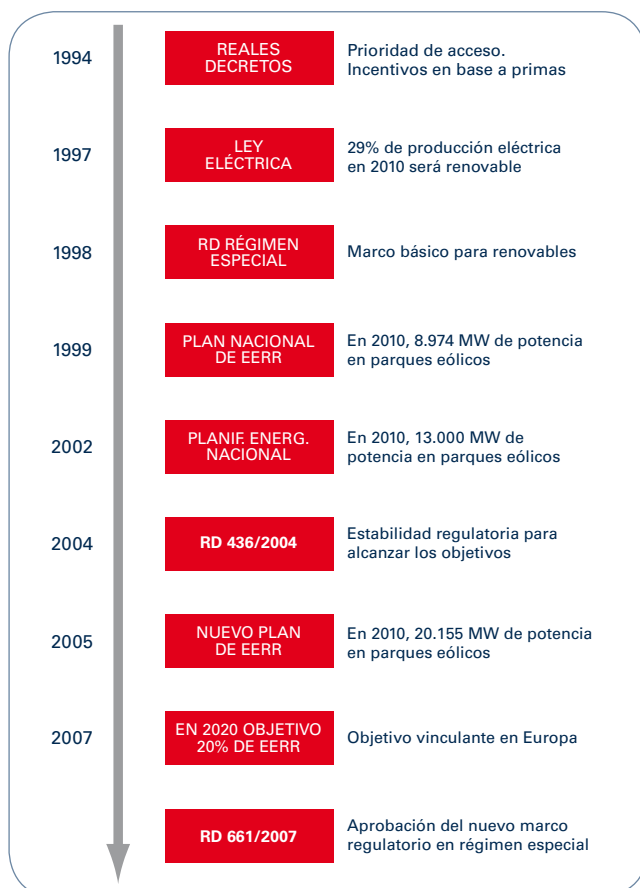
##### 5.1. Energía eólica: cuarta tecnología del sistema eléctrico

El total de la potencia de generación de electricidad instalada en España ha alcanzado a finales de 2006 los 82.336 MW, lo que ha supuesto un incremento de un 5,3% con respecto a la potencia del año 2005. El incremento de la potencia eólica instalada ha sido de un 15,83%.

De la potencia instalada a 31 de diciembre de 2006 (figura 6), la hidráulica sigue siendo la tecnología líder con un 20,1% del total, seguida de las térmicas de gas de ciclo combinado con un 19,8%. Las instalaciones que tienen el carbón como combustible representan el 14,4%; la eólica, el 14%; un 11,3% el resto del Régimen Especial; las centrales que emplean fuel/gas, un 10,9%, y la nuclear, un 9,3%.

Según datos facilitados por REE y AEE relativos a la evolución de la potencia instalada de las distintas tecnologías, el mayor incremento en el año 2006 corresponde a los ciclos

FIGURA 5  
Avance temporal en la regulación de las energías renovables.

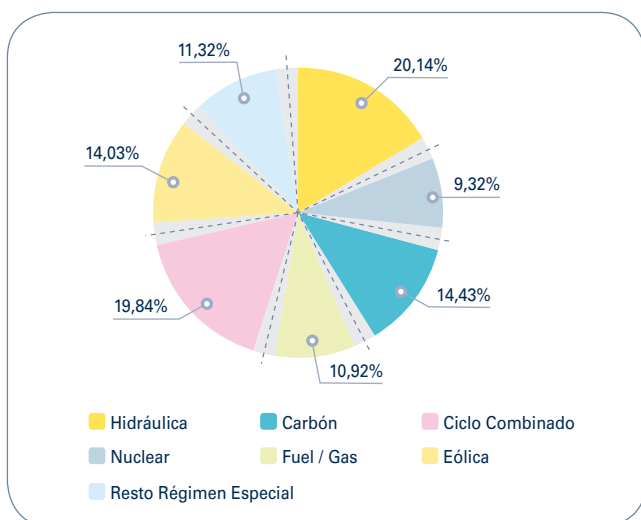


Fuente: elaboración propia.

combinados, seguido de la eólica, convirtiéndose ésta en la cuarta tecnología del sistema eléctrico en este año.

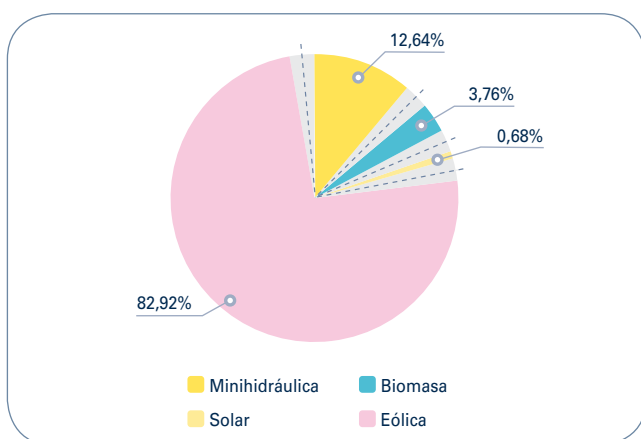
De la potencia renovable instalada en España a finales de 2006, la energía eólica sigue siendo de largo la tecnología predominante. En esta fecha suponía el 82,92% del total del potencial renovable en funcionamiento, mientras que la mini-hidráulica representaba el 12,64%, la biomasa el 3,76% y la solar el 0,68%.

**FIGURA 6**  
**Reparto de la potencia instalada por tecnologías a 31-12-2006.**



Fuente: REE (Red Eléctrica España) y AEE (Asociación Empresarial Eólica).

**FIGURA 7**  
**Reparto de la potencia instalada de energías renovables.**



Fuente: CNE y AEE.

<sup>1</sup> Fuente: CNE y AEE.

Este liderazgo de la eólica entre las energías renovables se ha consolidado en los últimos años, pues hasta 1999 fue la minihidráulica la tecnología líder del sector, pero el dinamismo del sector eólico, manteniendo en el incremento el número de parques eólicos desde entonces<sup>1</sup>, ha dado la vuelta radicalmente al escenario, revelándose la eólica como la más eficaz y eficiente de las tecnologías renovables.

Al analizar los datos de la potencia eólica instalada a 1 de enero de 2007, 11.615 MW con un total de 13.842 aerogeneradores repartidos en 538 parques eólicos (incluyendo ampliaciones y parques experimentales), debemos destacar en primer lugar que los 1.587,16 MW inaugurados en 2006 suponen un incremento de un 15,83% con respecto al año anterior, similar al registrado en 2005 pero muy inferior a los datos de 2004, como puede apreciarse en la tabla 2.

Para alcanzar el objetivo fijado por el Plan de Energías Renovables 2005-2010 de 20.155 MW (figura 8), la potencia eólica instalada debería aumentar en unos 2.000 MW anuales (figura 9), siendo el ritmo de instalación anual en los últimos años de unos 1.500 MW, lo cual indica que si se mantiene la tendencia de instalación eólica actual no se alcanzaría el objetivo fijado por el PER. Por primera vez, los resultados en el desarrollo eólico pueden ser inferiores a los objetivos. Hasta ahora la causa principal de esta ralentización la constituían los problemas en el cierre administrativo de los contratos técnicos de acceso a la red.

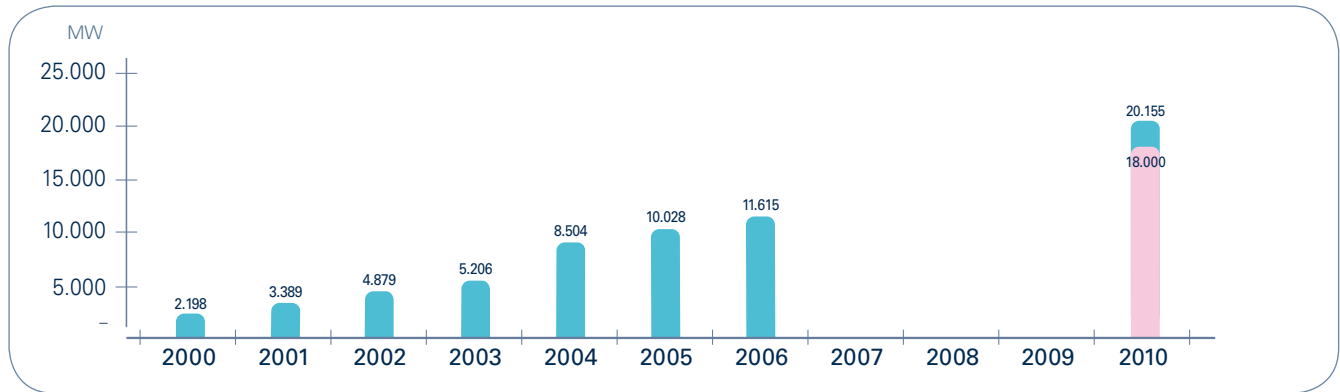
En cuanto al reparto de la potencia eólica instalada por comunidades autónomas (figura 10), Galicia se encuentra a la cabeza, seguida de Castilla-La Mancha, Castilla y León y Aragón.

**TABLA 2**  
**Tasa de crecimiento de la potencia eólica instalada.**

	Potencia instalada (MW)	Tasa de crecimiento (%)
Hasta 2003	6.204,41	—
A 1 de enero de 2005	8.503,92	37,02
A 1 de enero de 2006	10.027,91	17,92
A 1 de enero de 2007	11.615,07	15,83

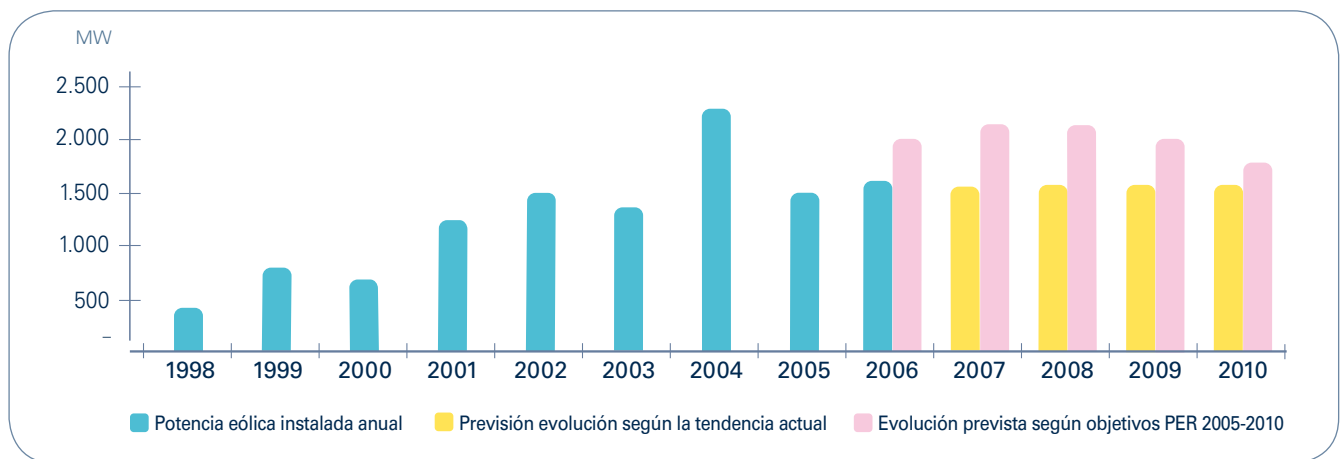
Fuente: IDAE.

FIGURA 8  
Evolución anual de la potencia eólica acumulada histórica y prevista 2000-2010.



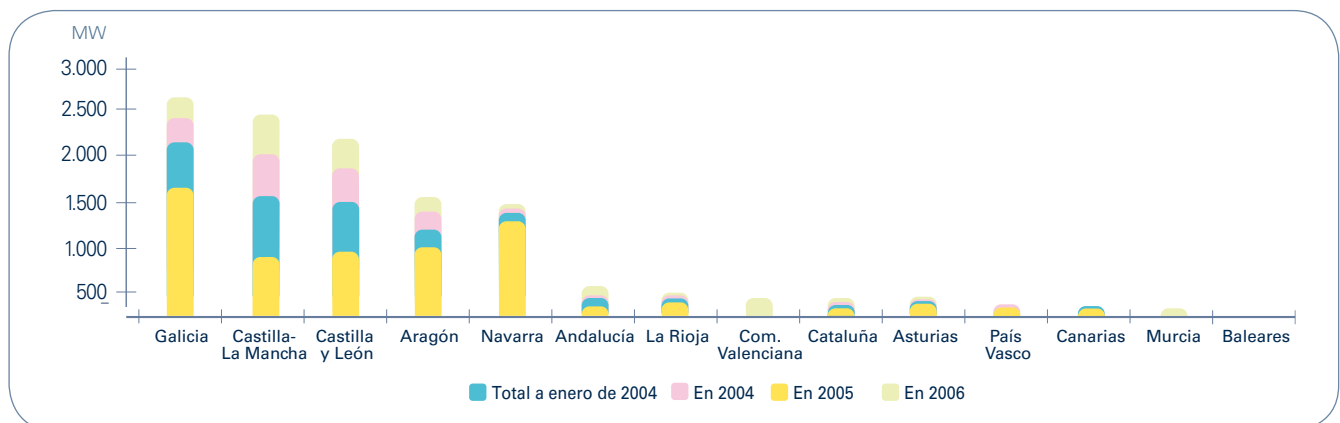
Fuente: AEE y PER.

FIGURA 9  
Potencia eólica instalada anualmente y previsiones 1998-2010.



Fuente: AEE.

FIGURA 10  
Distribución de la potencia eólica instalada por comunidades autónomas.



Fuente: AEE.

## 5.2. Generación

La demanda anual de energía eléctrica alcanzó durante 2006 los 268.027 GW/h, suponiendo un aumento del 2,6% con respecto al año 2005. Una vez corregidos los efectos de laboralidad y temperatura, el incremento total se situó en el 3,6%, lo que significa una reducción respecto a años anteriores.

Las tecnologías renovables produjeron durante 2006 29.587 GW/h, de los cuales un 78,99% (23.372 GW/h) correspondió a la eólica, un 13,68% (4.049 GW/h) a la minihidráulica, un 6,99% (2.067 GW/h) a la biomasa y un 0,34% (99 GW/h) a la solar fotovoltaica.

Según los objetivos del PER en producción, en 2010 el 29,4% de la demanda se deberá cubrir con renovables (incluida la gran hidráulica). Eso supondrá que la eólica deberá generar ese año 40.996 GW/h; la biomasa, 14.016 GW/h; la minihidráulica, 6.692 GW/h y la solar, 609 GW/h.

## 6. Impacto ambiental y socioeconómico

### 6.1. Beneficios ambientales

Por cada kW/h eléctrico eólico producido se evita la generación de una unidad de electricidad que podría haber procedido de una central convencional. No se puede predecir con exactitud la cantidad de contaminante que se deja de producir, puesto que este valor depende de características como la eficiencia de la planta, el régimen de operación o la composición del combustible. Por ejemplo, según el fabricante, trascurridos 20 años, una V90 de 3,0 MW evita la emisión al medio ambiente de 233.000 t de CO<sub>2</sub><sup>2</sup>.

En la Unión Europea, aproximadamente un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> proceden de la generación de energía. Por cada 1% de energía procedente de centrales convencionales que sea reemplazada por energías renovables, se produce una reducción del CO<sub>2</sub> en un 0,3%. En particular, una turbina de 600 kW en una localización promedio, en función del régimen de viento de la zona, evita la emisión de 20.000 t de CO<sub>2</sub> - 36.000 t de CO<sub>2</sub> durante sus 20 años de vida<sup>3</sup>.

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado un 25% desde el origen de la industria. Se estima que este valor se duplicará en el año 2050. El IPCC<sup>4</sup> estimó en 1996 que la

temperatura promedio global se había incrementado en 0,3 °C - 0,6 °C y prevé un aumento en el periodo comprendido entre 1990 y 2100 de 1,0 °C - 3,5 °C. Asimismo, para el nivel medio del mar, se espera un aumento de 15 cm - 95 cm.

La no emisión de contaminantes se ve favorecida en:

- Es una fuente de energía renovable, limpia, inagotable y segura.
- No contribuye a la lluvia ácida, por lo que se reducen los efectos negativos que recaen sobre la salud humana, los bosques y los cultivos, además de reducir el impacto sobre los ecosistemas.
- No contribuye al efecto invernadero.
- Está exento de contaminación atmosférica, vertidos tóxicos (salvo en la fabricación de los equipos y en el aceite de los engranajes) y de contribución al cambio climático.
- No hay combustión, fisión ni transformación de combustible.
- Se trata de instalaciones móviles, cuya desmantelación permite recuperar totalmente la zona.
- El tiempo de construcción es rápido (inferior a seis meses).
- Supone un beneficio económico para los municipios afectados (canon anual por ocupación del suelo); recurso autóctono.
- Su instalación es compatible con otros muchos usos del suelo.
- Creación de puestos de trabajo.

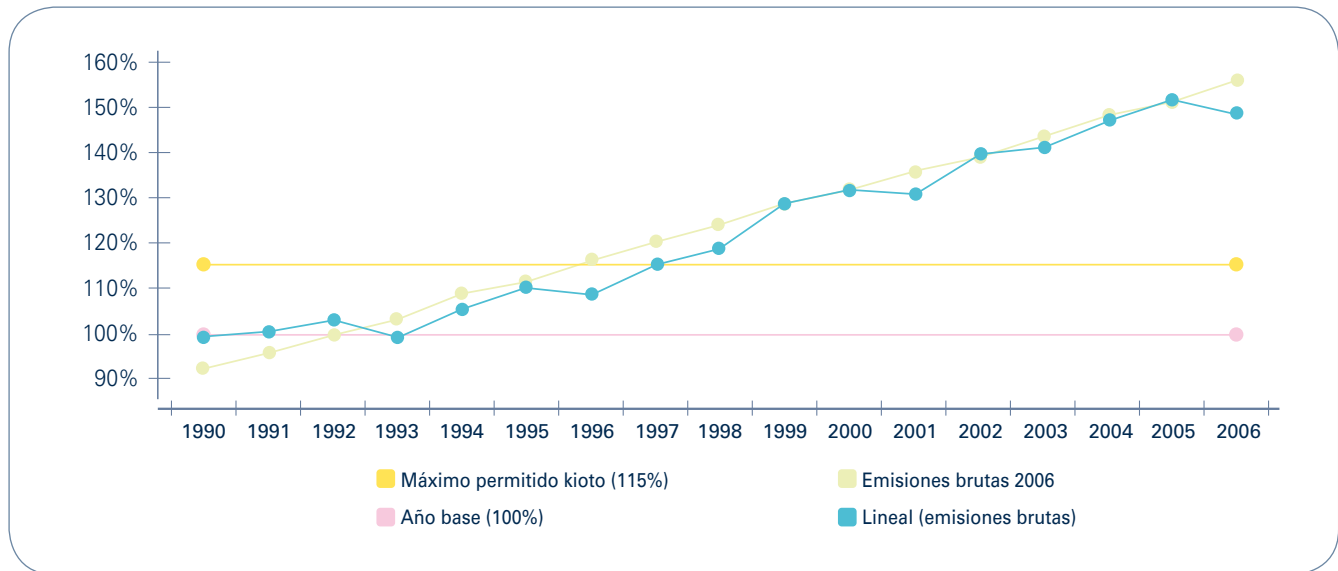
Según los compromisos adquiridos dentro del Protocolo de Kioto, España tiene como objetivo limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> en un +15% con respecto a las emisiones de 1990. En el año 2006, esas emisiones han sido un 48,05% superiores a las de 1990, lo que sitúa a España en un 33% por encima del objetivo (figura 11). Sin embargo, por primera vez en muchos años las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2006 en España se redujeron con respecto al año 2005 en un 4,1%. Esto se debe, entre otros factores, a la reducción de las emisiones del sector eléctrico, gracias al aumento

<sup>2</sup> Fuente: AIE, 2005.

<sup>3</sup> Fuente: Universidad de Zaragoza.

<sup>4</sup> Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change.

FIGURA 11  
Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España.



de la producción hidroeléctrica, a la recuperación de la producción nuclear que se vio disminuida excepcionalmente en el año 2005, a la menor producción de algunas centrales de carbón y derivados del petróleo y al aumento de la producción de ciclo combinado, además de la aportación de las energías renovables. La energía eólica como fuente de generación eléctrica de origen renovable es crucial en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, haciendo bajar la producción de otras tecnologías contaminantes como el carbón, el fuel o el ciclo combinado, y por tanto contribuyendo a cumplir el objetivo fijado por el Protocolo de Kioto.

## 6.2. Impacto ambiental

La instalación de un parque eólico está precedida por un Estudio de Impacto Ambiental, estudio que debe ser aprobado por las autoridades de la comunidad autónoma correspondiente con el objetivo de obligar a los promotores de la instalación a adoptar las medidas pertinentes para aminorar los posibles impactos negativos que pudieran producirse sobre el medio ambiente local.

La realización de estudios de este tipo se justifica más por la sensibilidad social en las áreas geográficas donde se ubican que por las características concretas de este tipo de instalaciones, cuyos efectos ambientales negativos suelen ser muy inferiores a los producidos por cualquier otra actividad de producción energética.

La aprobación medioambiental suele estar acompañada tanto de medidas correctoras para el diseño global de la

instalación como para el posicionamiento de los aerogeneradores, restauración de la cubierta vegetal, formas de las torres, pinturas o enterramiento de líneas eléctricas, así como de un plan de vigilancia cuya función básica es garantizar la afectación mínima del parque al entorno en el que está situado.

Cualquier instalación de producción de energía produce alteraciones de dos tipos (tabla 3).

Cuanto más intensa sea la acción, más frágil y de mayor calidad sea la zona, el impacto producido será mayor. Una instalación eólica posee un carácter poco impactante, por lo que la atención debe centrarse en la fragilidad y calidad del territorio sobre el que haya de asentarse.

Para realizar la evaluación del impacto ambiental es necesario comparar la situación preoperacional del entorno con cada una de las fases del proyecto: construcción, operación y abandono.

Los aspectos más comunes a las instalaciones eólicas pueden resumirse en los siguientes:

La energía eólica se diferencia de otras fuentes en su impacto medioambiental localizado y reversible, cesando una vez terminada la actividad si el parque se desmantela cuidadosamente.

Las claves del éxito de la aceptación de un proyecto eólico se basan en la realización de consultas previas, conocimiento de la tecnología, negociación con los afectados e información de los beneficios.

**TABLA 3**  
Tipos de alteraciones que producen cualquier instalación de producción de energía.

<p><b>Sobre el medio físico</b></p>	<p>Afectan únicamente a la superficie ocupada y a las zonas colindantes.</p> <p>Factores de que depende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carácter de la acción.</li> <li>• Fragilidad ecológica de la zona.</li> <li>• Calidad ecológica de la zona.</li> </ul>
<p><b>Sobre el medio socioeconómico</b></p>	<p>Afectan no sólo en el ámbito local, sino también en el regional e incluso a nivel nacional.</p>

**TABLA 4**  
Impactos más comunes en instalaciones de producción de energía eólica.

<p><b>Impacto sobre la flora</b></p>	<p>El movimiento de tierras para la construcción de las cimentaciones, vías de acceso y evacuación de la electricidad rompe la capa vegetal, por lo que en zonas tendientes a la desertización es un aspecto a cuidar especialmente, para evitar la erosión del suelo.</p> <p>No se conoce que se produzca ningún otro efecto dañino y de hecho puede superponerse un parque eólico a una explotación agropecuaria, ocupando solamente el 1%.</p>
<p><b>Impacto sobre la fauna</b></p>	<p>Si la construcción se realiza en un tiempo corto, lo cual es posible en unos meses, la fauna tiende a volver a ocupar la zona sin problemas, salvo casos especiales que han de ser detectados a través de un estudio de impacto medioambiental detallado.</p> <p>Las aves no tienden a colisionar con las aspas, salvo que la zona sufra tráficos intensos por estar en una ruta de migración concentrada de aves migrantes nocturnas, como es el caso del estrecho de Gibraltar.</p>
<p><b>Impacto visual</b></p>	<p>Es un tema subjetivo. Mientras que para algunos la imagen de un parque eólico sugiere un sentimiento positivo de progreso</p>

<p><b>Impacto visual</b> (continuación)</p>	<p>hacia el uso de energías limpias y duraderas, asociado a la línea armoniosa de los aerogeneradores modernos, exponente de su adaptación a la función de utilidad pública que realiza, para otros su presencia en el paisaje resulta intolerable.</p> <p>La tolerabilidad a su presencia depende de la belleza natural del paisaje a perturbar y de otros factores como el tiempo.</p> <p>Mientras que una instalación de unas pocas aeroturbinas puede resultar hasta atractiva, un parque eólico masivo supone un impacto visual muy considerable, especialmente si la concentración es alta.</p> <p>Los elementos que contribuyen al impacto visual son: aerogeneradores, caseta, líneas eléctricas y accesos.</p> <p>Los fabricantes de turbinas se han ido adaptando a cánones estéticos, eliminando las torres de celosía, los arriostramientos y reduciendo los tendidos aéreos, además de usar líneas para las góndolas resultado de un diseño industrial de calidad.</p> <p>La vegetación puede ser usada para reducir la interferencia visual en zonas muy frecuentadas. Los edificios suelen situarse en una zona poco visible y alejada.</p> <p>El impacto visual puede establecerse en tres niveles:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carácter de la acción.</li> <li>• Fragilidad ecológica de la zona.</li> <li>• Calidad ecológica de la zona.</li> </ul>
<p><b>Ruido</b></p>	<p>El nivel de ruido emitido por los aerogeneradores es similar al de cualquier otra instalación industrial de similar potencia, si bien cuenta con el inconveniente de estar al aire libre, por lo que no se cuenta con el efecto reductor de los edificios continentales.</p> <p>La aplicación de técnicas específicas de reducción de ruido ha logrado</p>





**Ruido**  
(continuación)

avances sustanciales, sin que se incremente apreciablemente el costo de la máquina. El aumento de la calidad de las mecanizaciones en piezas críticas contribuye a la reducción del ruido.

El grado de molestia percibido depende de:

- El nivel de ruido emitido por el aerogenerador.
- La posición con respecto a la turbina.
- La distancia al aerogenerador. A suficiente distancia decrece por la absorción atmosférica y por el reparto de su energía en un área mayor: -6 dB al duplicar la distancia a distancias > 2D.
- La existencia de barreras acústicas, como montañas, vegetación, edificios, etc., aunque son poco efectivas a frecuencias bajas.
- El ruido de fondo, que enmascara al recibido del aerogenerador. Especialmente notable es el efecto del viento en el lugar de percepción, que aumenta el ruido de fondo ocultando al generado por la turbina.

El nivel de ruido de fondo en zonas rurales puede ser muy bajo, del orden de 20 dB, equivalente a un silencio casi absoluto, por lo que el impacto de las aeroturbinas puede notarse bastante en las cercanías.

Actualmente se está estudiando la creación de normativas que impidan aumentos superiores a 5 dB por la instalación de un parque eólico. Muchas de las aeroturbinas modernas lograrían pasar esta normativa, si se realiza una instalación proyectada con cuidado.

Actualmente se está estudiando la creación de normativas que impidan aumentos superiores a 5 dB por la instalación de un parque eólico. Muchas de las aeroturbinas modernas lograrían pasar esta normativa, si se realiza una instalación proyectada con cuidado.

### 6.3. Impacto socioeconómico

Las alteraciones de tipo socioeconómico son muy positivas, tanto a escala local como regional y nacional, pues aparte de la reducción de la contaminación asociada a la generación de energía y en el uso de recursos no renovables se crean directa e indirectamente puestos de trabajo de alta cualificación profesional, media y baja. Por otra parte, los terrenos de elevado potencial eólico no suelen ser de explotación agraria intensiva, por lo que puede establecerse sin problemas una coexistencia, eventualmente sólo afectada por el problema acústico.

La incorporación de la oferta energética de las fuentes renovables ha estado y estará condicionada en un mercado libre por la exigencia de una rentabilidad directa lo suficientemente alta para que el inversor cambie su modelo de abastecimiento. El inversor no incluye referencia alguna a los beneficios inducidos por el uso de las energías renovables ni a las externalidades que las energías convencionales incorporan.

Sólo en algunos casos, la incorporación de las renovables puede significar un valor añadido al inversionista, la mejora de imagen externa por contribuir a un buen fin. A pesar de ello, el costo de esa mejora de imagen se valorará frente a otras opciones.

Los ingresos por ser productor provienen de la venta de la energía, la cual es de obligada compra por parte de los explotadores de la red, a un precio superior al de venta, si se cumplen ciertas condiciones. El precio de adquisición regula, por tanto, el interés de los inversores en las energías renovables y constituye, junto con las subvenciones directas, las herramientas principales de incentivo de uso. En el futuro es posible que se establezcan las ecotasas, impuestos por producción de contaminantes, o de CO<sub>2</sub>, por lo que incidirán asimismo en la dinámica de evolución. El mercado de bonos de emisiones va en el mismo sentido.

Los costos principales se dividen según aparece reflejado en la tabla 5:

El análisis financiero es similar al que pueda utilizarse para un proyecto normal, teniendo en cuenta que en los proyectos de energía eólica se usa un periodo de amortización del orden de 10 a 20 años.

La situación política en España en el ámbito energético ha experimentado cambios importantes en años recientes, como resultado del Protocolo de Kioto y del progreso de la política europea en el ámbito energético.

Los precios públicos para la venta de energía eléctrica, si bien han permitido la creación de una industria incipiente, no reflejan los costes reales completos, ni la estabilidad de futuro adquirida, ni el efecto descentralizador, etc., y tienden a bajar.

TABLA 5  
División de costes de una instalación de producción de energía eólica.

Inversión inicial	Coste aerogeneradores	325 a 400 €/m <sup>2</sup> de área de rotor (en el rango de los 225 KW a 1.800 KW de potencia eléctrica nominal)
	Otros costes	25% del costo aerogeneradores
		Infraestructura civil y eléctrica
		Transporte y montaje
		Gestión y administración 2,5% de la inversión inicial
Costes operativos	Costes de operación y mantenimiento	1%
	Seguros	0,75%
	Acondicionamiento de la infraestructura	0,75%

## 7. Nuevo régimen de retribución económica de la energía eólica (Real Decreto 661/2007)

Durante 2007 se ha aprobado el Real Decreto 661/2007, texto que establece el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

El nuevo Real Decreto, según el Gobierno, supone un impulso para poder alcanzar los objetivos del Plan de Energías Renovables 2005-2010, así como los objetivos contraídos por España a nivel comunitario. Con el desarrollo de estas tecnologías, la energía renovable en España cubrirá el 12% del consumo de energía en el año 2010 y se evitará la emisión de 27 Mt de CO<sub>2</sub> en ese año. Igualmente, con la consecución de los objetivos previstos para la cogeneración se evitará en el año 2010 la emisión de 6,3 Mt de CO<sub>2</sub>.

La nueva normativa determina el derecho a percibir una retribución especial por la energía producida a las instalaciones incluidas dentro del régimen especial, es decir, con una potencia superior e inferior a 50 MW.

Las disposiciones del Real Decreto no tendrán carácter retroactivo. Las instalaciones que se pongan en funcionamiento hasta el 1 de enero de 2008 podrán mantenerse acogidas a la regulación anterior en la opción de tarifa fija durante toda su vida útil. Cuando participen en el mercado, podrán mantener su regulación anterior hasta el 31 de diciembre de 2012. Voluntariamente, estas instalaciones podrán optar por acogerse a este nuevo Real Decreto desde su publicación.

Será en 2010 cuando las tarifas y primas establecidas en la propuesta se revisarán de acuerdo con la consecución de los objetivos fijados en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 y en la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética, y conforme a los nuevos objetivos que se incluyan en el siguiente Plan de Energías Renovables para el periodo 2011-2020.

Las revisiones que se realicen en el futuro de las tarifas no afectarán a las instalaciones ya puestas en marcha. Esta garantía aporta seguridad jurídica para el productor, proporcionando estabilidad al sector y fomentando su desarrollo.

La nueva regulación garantiza un porcentaje medio del 7% a una instalación eólica e hidráulica en el caso de optar por ceder su producción a las distribuidoras, y una rentabilidad entre el 5% y el 9% si participa en el mercado de producción de energía eléctrica.

Para otras tecnologías que es necesario impulsar por su limitado desarrollo, como la biomasa, el biogás o la solar termoeléctrica, la rentabilidad se eleva al 8% en la cesión de la producción a las distribuidoras y entre un 7% y un 11% si participan en el mercado.

## 8. Reglamentación Especial de eólica marina (Real Decreto 1028/2007) y otras particularidad (ecacuación, cimentación)

La calidad del viento aumenta considerablemente en el mar, donde presenta menos perturbaciones al no verse alterado por el relieve del terreno, una velocidad media más alta que en la mayoría de los emplazamientos terrestres, menor turbulencia, menor variación de la velocidad media en función de la altura..., lo que permite la instalación de aerogeneradores de mayor potencia unitaria así como una menor altura de buje respecto al equivalente en tierra.

El principal obstáculo a salvar por estos parques es el elevado coste, muy superior al de sus equivalentes terrestres, debido principalmente a dos factores: al mayor coste de la cimentación y al cableado submarino.

### Situación actual 'offshore'

Dinamarca fue el primer país en todo el mundo en construir parques eólicos en el mar. Aquella primera instalación se colocó en 1991 en el mar Báltico y contaba con 11 aerogeneradores. Desde entonces, aunque Dinamarca aún concentra más de la mitad de la producción mundial de la energía que se genera en los parques eólicos marinos, éstos se han ido reproduciendo por el mundo, principalmente en Europa. Holanda (dos parques), Suecia (tres), Reino Unido (cinco), Irlanda (uno), Alemania (dos), Japón (uno) son los otros países que cuentan con este tipo de infraestructuras, según una recopilación efectuada por el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). El parque más grande, situado en Horns Rev (Dinamarca), cuenta con más de 80 aerogeneradores y una potencia instalada de 160 MW. El objetivo de las autoridades danesas es alcanzar los 6.500 MW instalados en 2030.

En España, la energía eólica marina (offshore) es la continuación natural del espectacular desarrollo eólico de nuestro país, desarrollo que nos ha colocado en el segundo puesto a nivel mundial desde el punto de vista de potencia instalada.

El incremento de potencia eólica instalada del Plan de Energías Renovables 2005-2010, que actualizó al anterior Plan de Fomento de las Energías Renovables, unido al elevado nivel de ocupación actual de los parques eólicos, lleva a buscar zonas de elevado potencial eólico unido a una elevada calidad del viento, que permita continuar incrementando la potencia unitaria de los aerogeneradores, realizándose así un uso mejor optimizado de cada ubicación, tanto desde el punto de vista medioambiental como de producción eléctrica. Esta calidad se encuentra especialmente en el mar, por las razones expuestas anteriormente.

El potencial eólico de una zona marina depende de varios factores:

- Recurso eólico.
- Morfología del fondo marino. Profundidad, composición, distancia a la costa.
- Conexión a la red eléctrica.
- Capacidad técnica y viabilidad económica.

La energía eólica offshore está en pleno proceso de desarrollo y barreras tecnológicas que hace unos años limitaban las zonas adecuadas para la explotación de parques eólicos marinos empiezan a superarse, aumentando con ello la disponibilidad de espacio y mejorándose la potencia unitaria de los aerogeneradores, concebidos especialmente para su uso offshore. Esta capacidad técnica desarrollada choca con el desarrollo de la energía offshore en España y provoca la existencia de emplazamientos con condiciones de explotación ya aprovechadas en el norte de Europa junto a otros, que el avance investigador va haciendo viables con el paso de los años y que empiezan a aprovecharse en otros países.

### 8.1. Legislación. Eólica marina en el mundo

Recientemente se ha aprobado un Real Decreto que regula la producción de energía eléctrica en el mar territorial. Este Real Decreto, el 1028/2007, tiene por objeto la regulación de los procedimientos, así como la determinación de las condiciones y criterios que han de regir para la obtención de las autorizaciones y concesiones administrativas precisas para la construcción y ampliación de las instalaciones de generación de electricidad que se encuentren ubicadas físicamente en el mar territorial. Las instalaciones de generación eólica marina que se pretendan ubicar en el mar territorial tendrán una potencia instalada mínima superior a 50 MW.

La potencia instalada en parques eólicos marinos sumaba 686 MW a finales de 2005, correspondiendo la mayor parte de ellos a Dinamarca, con 423 MW (53%); Reino Unido, con 213,8 MW (38%), Irlanda (3%) y Suecia (3%). (figura 12).

En cuanto al potencial, según un estudio de Garrad Hassan, el potencial eólico marino para el año 2020 alcanzaría los 236.220 MW, correspondiendo a España una cifra de 25.520, mientras que Reino Unido podría alcanzar los 46.750 MW y Dinamarca 27.790 MW (ver tabla 6 y tabla 7).

TABLA 6  
Potencial eólico marino en el mundo. Año 2020.

	Potencia (GW)	Área ocupada (km <sup>2</sup> )
Bélgica	6,67	834
Dinamarca	27,79	3.474
Finlandia	13,4	1.675
Francia	32,78	4.097
Alemania	11,54	1.443
Grecia	3,3	413
Irlanda	15,34	1.917
Italia	16,98	2.122
Holanda	6,56	820
Portugal	12,74	1.592
España	25,52	3.190
Suecia	17,26	2.157
Reino Unido	46,75	5.844
<b>TOTAL</b>	<b>236,63</b>	<b>29.578</b>

TABLA 7  
Comparativa de España con respecto a Europa del potencial eólico marino. Año 2020.

	2010 (GW)	2015 (GW)	2020 (GW)	Total 2020 (GW)
Europa	27,15	93,97	125,5	236,62
España	1,35	11,31	12,66	25,52

## 8.2. Análisis de la situación actual. Recursos

A la hora de establecer los criterios para el análisis de los recursos se deben tener en cuenta más aspectos que con la energía eólica en tierra, ya que para que se considere la existencia de recurso no basta con los elementos habituales (viento, orografía del terreno, distancia a la REE, etc.), hay que considerar la instalación de los aerogeneradores en el fondo marino, teniendo en cuenta que a mayor profundidad mayor coste, y que este sobrecoste debe amortizarse gracias a unas condiciones de vientos óptimas.

Para determinar los emplazamientos adecuados para el desarrollo de la energía eólica marina se han tenido en cuenta las recomendaciones recogidas en los estudios de diversas asociaciones profesionales para el diseño de parques eólicos offshore, así como otra serie de parámetros avalados por los proyectos offshore de demostración realizados hasta la fecha. Por tanto, los parámetros que determinan la viabilidad de un parque eólico son los siguientes.

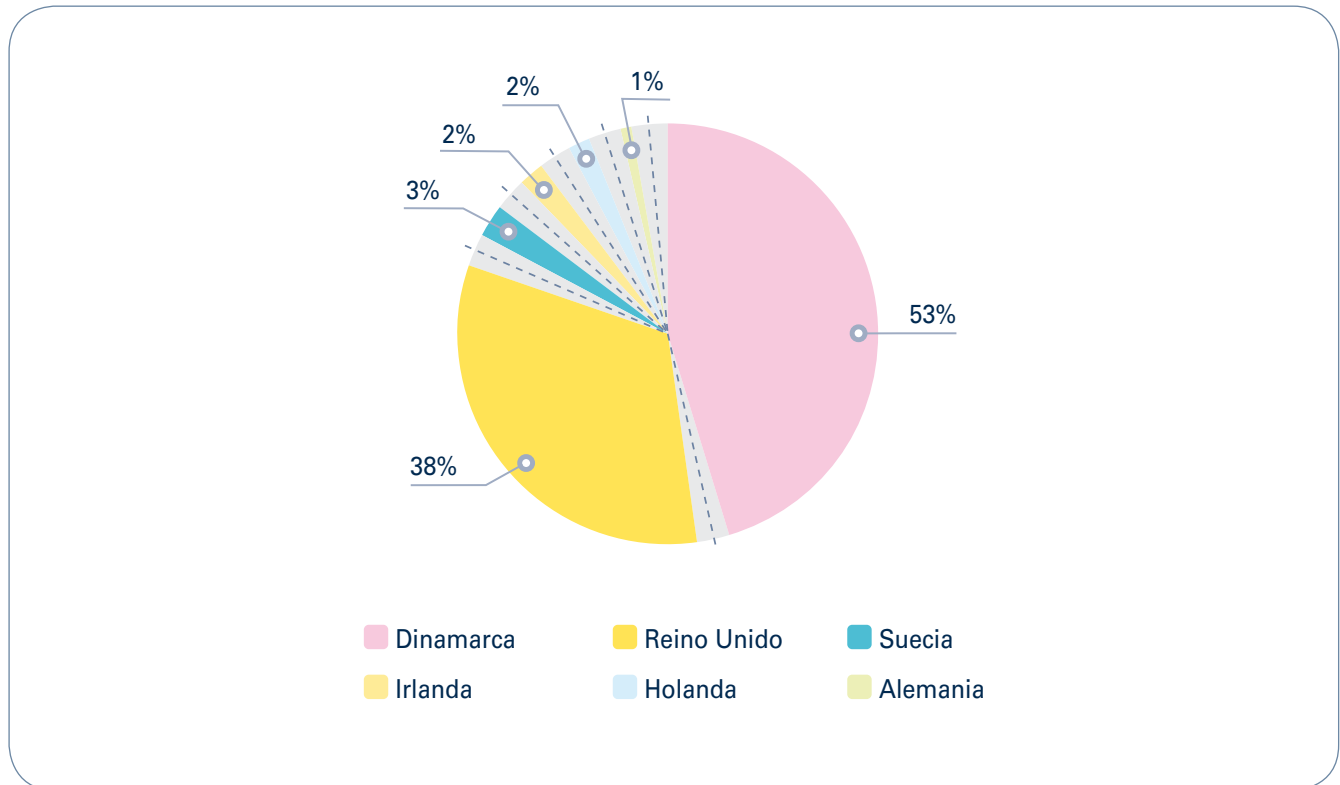
- Recurso eólico. El principal problema que presenta la estimación de este recurso es la escasez de fuentes de información de calidad. Para este proyecto se han empleado datos procedentes del European Wind Atlas, de la red de medida oceanográfica existente en la costa española y del Mapa Eólico Nacional, publicado en 1994.

El European Wind Atlas (Risø, 1989) fue el resultado de una iniciativa de la Comisión Europea e implicó a institutos meteorológicos y organizaciones relacionadas de toda la Unión Europea (UE). La coordinación y elaboración del Atlas fue encargada al Risø National Laboratory (Dinamarca), uno de los principales centros investigadores en energía eólica del mundo, y la herramienta empleada fue el WASP, software específico para la estimación de recursos eólicos.

El Mapa Eólico Nacional, elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología (INM), ofrece información de las estaciones meteorológicas pertenecientes a dicha organización, así como un resumen energético por comunidades autónomas. Dentro de la Administración también se dispone de la red de medida oceanográfica del Ente Público de Puertos del Estado (EPPE), que dispone de las siguientes redes de monitorización.

- Red Meteorológica Portuaria (REMPOR). Consta actualmente de 30 estaciones meteorológicas instaladas en 21 autoridades portuarias. Todas ellas disponen de sensores de viento, presión, temperatura, humedad relativa y precipitación. Tanto sus características técnicas como su explotación responden a convenciones determinadas

FIGURA 12  
Reparto por países de la potencia eólica offshore.



Fuente: CENER y AEE.

- por la Organización Meteorológica Mundial y se ajustan a los Proyectos de Norma Española de la serie 500.
- Red Costera (REMRO). Proporciona datos de oleaje en tiempo real en puntos de aguas poco profundas. Su objetivo es complementar las medidas de la red exterior en lugares de especial interés para las actividades portuarias o la validación de modelos de oleaje. Consta de boyas escalares y direccionales Waverider.
- Radar en Costa. La tecnología Radar de Alta Frecuencia permite la monitorización remota de corrientes y oleaje en un área con rango entre centenas y miles de kilómetros cuadrados. Aún está en fase de experimentación.
- Correntímetros. El objetivo de esta red es obtener medidas oceanográficas (corrientes, temperatura y salinidad) que complementen y ayuden a interpretar las obtenidas por las boyas de la red exterior. Está formada por cadenas de correntímetros (modelo RCM7) que se ubican a unas profundidades predefinidas.

- Red de Mareógrafos (REDMAR). El objetivo es la monitorización del dato de nivel del mar en tiempo real y la generación de series históricas para su posterior explotación. En la actualidad está constituida por 15 mareógrafos acústicos SONAR y 7 mareógrafos de presión Aanderaa.
- Red de aguas profundas (Proyecto RAYO-EMOD). La red de aguas profundas está formada por 11 boyas Seawatch y 3Wavescan. Los instrumentos están ubicados en puntos con profundidades entre 200 m y 800 m y miden parámetros oceanográficos y meteorológicos. Los datos son transmitidos cada hora vía satélite.

Para la estimación eólica se descarta el empleo de medidas realizadas desde barcos por la inexactitud de las mismas. De las redes incluidas, solamente la de aguas profundas y la REMPOR tienen capacidad para registrar viento y otros parámetros meteorológicos. El resto de redes de medida proporciona información acerca de corrientes y oleajes, que aunque no resulte de utilidad en esta primera estimación del potencial eólico, sí resultarán de gran utilidad en fases más avanzadas del desarrollo de parques eólicos offshore.

Para considerar la viabilidad de un parque eólico offshore, la intensidad media del viento debe ser al menos 7 m/s a la altura de buje, considerándose óptimo intensidades de 8 m/s o superiores. Diversos estudios fijan en un 20% el incremento de la intensidad del viento en el mar respecto a la costa, a una distancia de 10 km, lo cual implica que el viento en la costa debe ser 5 m/s como mínimo, estando el valor ideal en 6 m/s - 7 m/s o más. El incremento de intensidad, según las experiencias offshore más recientes, puede ser incluso superior.

- **Batimetría.** España cuenta con una plataforma continental estrecha y con pendientes pronunciadas que no es favorable para el desarrollo de la energía eólica

offshore. El análisis de las condiciones batimétricas se debe hacer de forma precisa para cada emplazamiento apto. En este informe sólo se apuntan aquellas zonas favorables para el emplazamiento de aerogeneradores marinos.

- **Condiciones geológicas.** Los principales recursos de información geológica en la costa española son Estudio de la plataforma continental española, elaborado por ESPACE, y Desarrollo de un sistema de información geográfica para la gestión de los fondos marinos, elaborado por SIGFOMAR. Al igual que con las condiciones batimétricas, el análisis se realizará por comunidades.



Aerogeneradores marinos.

A la hora de seleccionar emplazamientos para aerogeneradores se consideran preferentes emplazamientos con sustrato del tipo fango y arenas antes que rocas, aunque esto se debe principalmente a razones de coste y no a problemas técnicos.

- **Capacidad técnica.** La I+D+i en energía eólica offshore es intensa y los avances logrados en los últimos años van ampliando las perspectivas de desarrollo y las fronteras que se pueden alcanzar con un coste contenido. En el siguiente cuadro (tabla 8) se muestra la situación tecnológica del sector.

TABLA 8  
Capacidad técnica y perspectivas.

	Comercial	Demostración	I+D
<b>Profundidad</b>	10-25 m	Hasta 50 m	Plataformas flotantes
<b>Aerogeneradores</b>	2-3,6 MW	5 MW	10 MW
<b>Dist. costa</b>	< 20 km	< 30 km	< 40 km
<b>Coste</b>	1.600 €/kW	-	-

Fuente: CENER y AEE.







09 | Energías Renovables: Solar

## 1. Introducción

La energía solar ha sido y sigue siendo aprovechada en mayor o menor medida por el hombre y la Tierra a lo largo de su historia, en forma directa mediante calentamiento directo, fotosíntesis, viviendas bioclimáticas, e indirectamente mediante molinos de viento, combustión de biomasa, etc.

Cuando se habla de instalaciones de energía solar hay que especificar la tecnología que se utiliza en su aprovechamiento, ya que existen muchas formas de hacerlo. Las más importantes son:

- Las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura, cuya aplicación fundamental es la producción de agua caliente en viviendas, procesos industriales, piscinas, etc., y en menor medida la producción de frío para refrigeración para climatización de espacios.
- Las instalaciones de energía solar térmica de media o alta temperatura, o Sistemas Termosolares de

Concentración, cuya aplicación fundamental es la producción de electricidad mediante el empleo de un ciclo de potencia (denominadas en este caso centrales eléctricas termosolares), y en menor medida también sirven para aplicaciones de química solar: orientadas a la conversión de la energía radiante en energía química como el reformado solar del gas natural o la obtención de hidrógeno solar mediante procesos de electrolisis a alta temperatura, disociación térmica de vapor u otros procedimientos termoquímicos. Otras aplicaciones aún menos desarrolladas son las de desalación de agua, la detoxificación de efluentes industriales o agrícolas, el tratamiento o la síntesis de materiales, etc.

- Las instalaciones solares fotovoltaicas, que tienen como objetivo la producción de electricidad de forma directa, sin necesidad de emplear ningún ciclo de potencia. Esta electricidad se puede vender a la red eléctrica o consumir directamente en lugares donde no exista la red eléctrica, como puede ser vivienda en el campo, bombeo de agua, señalización, telecomunicaciones, etc.

TABLA 1. Tipos de aprovechamientos de la radiación solar mediante instalaciones diseñadas para ello.

Transformación de la radiación solar en		Tipo de instalación		Equipo principal	Aplicaciones
Radiación solar	Calor	Energía solar térmica de baja temperatura	Para calentamiento	Captador plano o tubo de vacío	Agua caliente sanitaria Calefacción piscinas Secado de alimentos y materiales Calefacción de espacios
	Frío		Aprovechar el calor para producir frío	Captador plano o tubo de vacío y equipo de absorción	Refrigeración de espacios
	Electricidad	Centrales eléctricas termosolares <sup>1</sup>	Energía solar fotovoltaica	Célula fotovoltaica	Instalaciones conectadas a la red: - Venta de energía a la red - Instalaciones aisladas de la red - Bombeo de agua - Señalización - Electrificación rural - Telecomunicación
	Electricidad			Concentrador de la radiación con un ciclo de potencia: - Cilindro-parabólicos - Concentradores lineales de Fresnel - Receptor central - Discos parabólicos	Instalaciones conectadas a la red: - Venta de energía a la red

<sup>1</sup>Están dentro de los Sistemas Solares de Concentración.

En esta clasificación no se han incluido otras formas de aprovechamiento de menor generalización como por ejemplo las cocinas solares, procesos de secado, fotoemisión, etc.

La única característica que tienen en común estas instalaciones es que todas ellas utilizan el mismo recurso: la radiación solar. Las principales ventajas de estas instalaciones son:

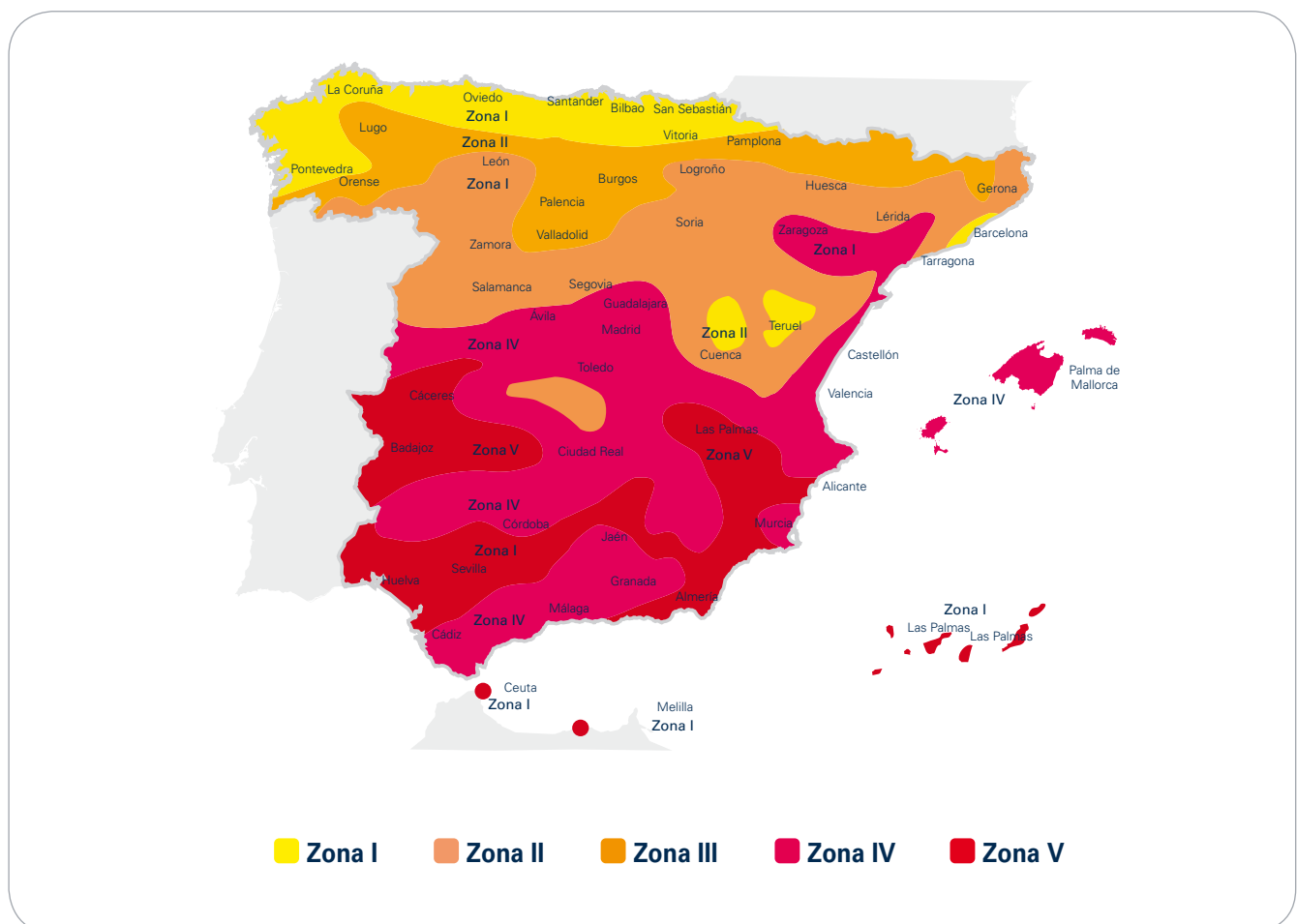
- Es renovable, ya que la edad del Sol se estima en 5.000 millones de años, con unas pérdidas de su masa de 4,5 t/s, por lo que se estima una duración de al menos 6.000 millones de años para reducir su masa el 10%.
- Es sostenible, porque es una fuente energética que no contribuye al calentamiento terrestre al recibirse diariamente y si se aprovecha no contribuye a su calentamiento.
- Es abundante, en el sentido de que la energía diaria incidente es del orden de 10.000 veces el consumo energético de la humanidad.

- Es dispersa, es decir, se encuentra en mayor o menor cantidad en todos los lugares de la Tierra, incluso es más abundante en los lugares más desfavorecidos. En este sentido, son instalaciones que van a contribuir a una producción energética más distribuida que la actual, con menores pérdidas energéticas y menos impactos ambientales.

- Es muy poco contaminante, ya que la contaminación ambiental sólo se produce en la fabricación de los componentes, no en los procesos de transformación de la radiación solar en energía final. Las características de sus componentes hacen que esta incidencia sea muy pequeña.

Como desventaja principal, se destaca que el recurso no está presente las 24 horas del día, por lo que deben ser complementadas con otras fuentes energéticas (biomasa, eólica, gas, etc.) si se quiere asegurar una producción determinada, lo que nos lleva a pensar en un futuro inmediato al uso de instalaciones híbridas, solares en combinación con otras fuentes energéticas.

FIGURA 1  
Mapa de radiación y zonas climáticas de España, según el Código Técnico de la Edificación.



## 2. Radiación Solar

La fuente energética por excelencia que ha originado todas las demás —incluidos los combustibles fósiles— es, sin lugar a dudas, la radiación solar.

Se presenta en la Tierra como una radiación electromagnética (entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $3 \mu\text{m}$ ) que se origina en las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en el Sol, a 150 millones de kilómetros de distancia. Al llegar al exterior de la atmósfera tiene una potencia de  $1.367 \text{ W/m}^2$  (constante solar) y la atraviesa, reflejándose una parte, absorbiéndose otra y llegando al suelo aproximadamente un 50% de la incidente. Por supuesto, cuando hay nubes se refleja y absorbe más que cuando no las hay, por lo que, en definitiva, la cantidad de radiación solar que llega a un determinado lugar es muy variable (entre  $0 \text{ W/m}^2$  y  $1.000 \text{ W/m}^2$ ). En términos de energía, en España la radiación solar que llega a una superficie horizontal es del orden de  $4 \text{ kWh/m}^2$  al día (Norte) y de  $5 \text{ kWh/m}^2$  al día (Sur) en valor medio anual.

En la figura 1 (página anterior) se indica la distribución de la radiación solar en España, según el Código Técnico de la Edificación, clasificando a España en cinco zonas climáticas, desde las zonas de menor radiación solar incidente (zona I) hasta las de mayor radiación solar incidente (zona V).

Desde ciertos puntos de vista, interesa saber que la radiación solar nos llega en dos formas principales: directamente del disco solar, sin modificarse su dirección (componente directa), y desde toda la bóveda celeste, como consecuencia de las difusiones que los componentes atmosféricos han producido en la radiación incidente (componente difusa). Por supuesto, la componente directa es muy superior en cantidad a la difusa, sobre todo en días claros, llegando a alcanzar valores de hasta  $10 \text{ kWh/m}^2$  al día en el verano (donde existen más horas de sol), mientras que la difusa tiene valores normales inferiores a  $1 \text{ kWh/m}^2$  al día en días claros, mientras que en días nubosos puede llegar a valores del orden de  $2,5 \text{ kWh/m}^2$  al día.

En los dispositivos de transformación de la radiación solar en energías intermedias (electricidad y calor principalmente) se necesita información de radiación solar en su componente directa o la proyección de la total sobre la superficie inclinada en la que se encuentren los captadores solares o los módulos fotovoltaicos correspondientes. No siempre se dispone de esa información, por lo que es necesario obtenerla a partir de unas medidas básicas en estaciones específicas o a partir de imágenes de satélite mediante procesos de cálculo no siempre fáciles.

## 3. Energía solar térmica

### 3.1. Aspectos básicos

Un aspecto importante de la radiación solar en relación con su aprovechamiento energético es su distribución espectral. En el caso concreto de la transformación en módulos fotovoltaicos para conseguir directamente electricidad, sólo la parte del espectro solar con longitudes de onda inferiores a  $1 \mu\text{m}$  se aprovecha y por eso el rendimiento energético de estos dispositivos es relativamente bajo (entre un 10% y un 15%). Como curiosidad es interesante saber que las plantas verdes también son sensibles para realizar la función fotosintética a longitudes de onda inferiores a  $0,7 \mu\text{m}$ . Por el contrario, los convertidores térmicos (captadores de baja temperatura y otros dispositivos de media y alta temperatura) responden en todas las longitudes de onda del espectro solar ya que se trata de absorción térmica y todos los materiales responden a este estímulo energético sin ninguna selectividad espectral.

Una instalación solar térmica tiene como objeto la producción y almacenamiento de agua caliente a partir de la radiación solar. Este agua caliente se puede destinar al consumo directamente en ducha, lavadora, proceso industrial, calentamiento de piscinas, calefacción, etc., o como entrada a una máquina de absorción para producir frío y utilizarse en refrigeración. La utilización para su uso en refrigeración es aún muy limitada, siendo mayoritario el consumo de agua caliente.

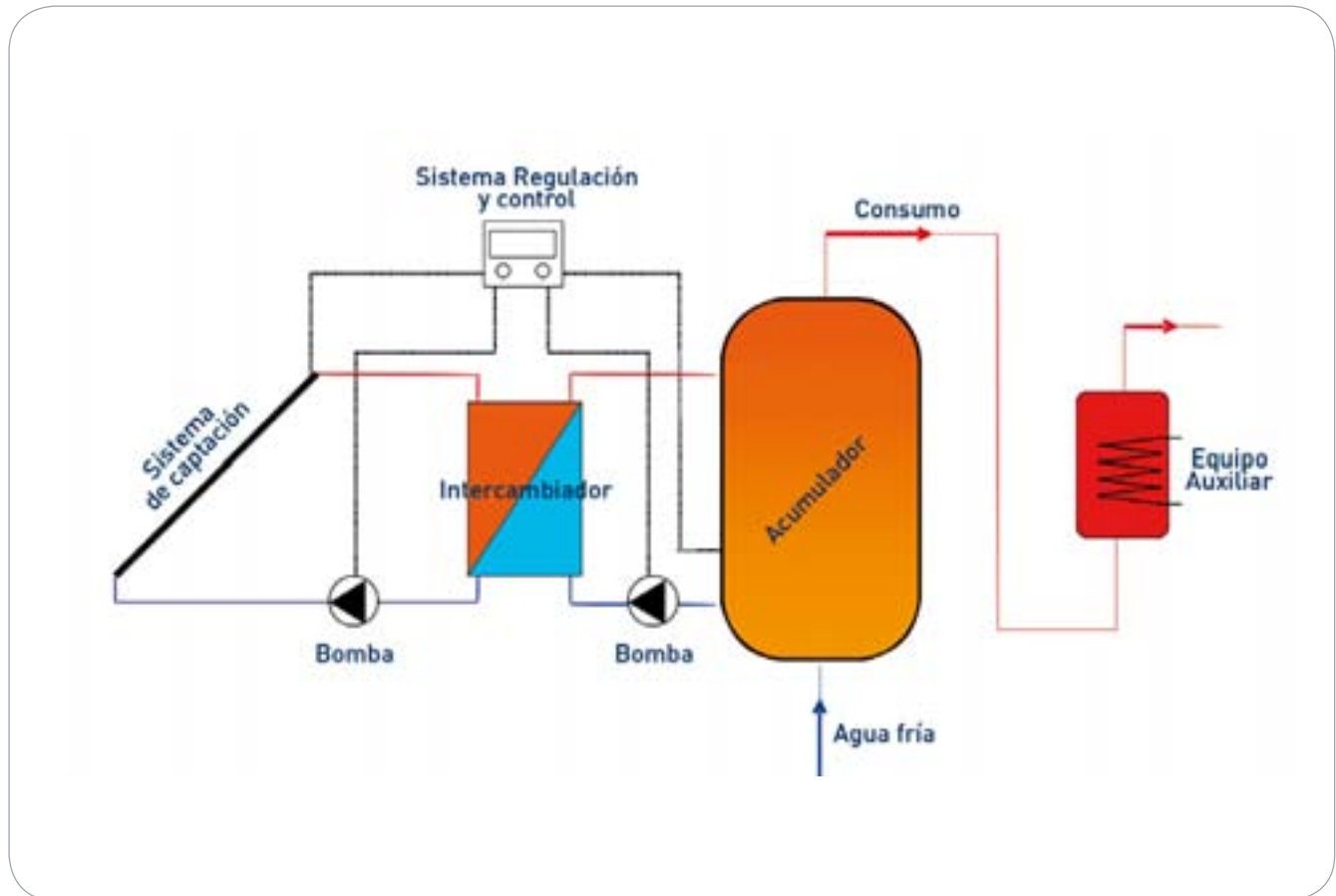
En la figura 2 se muestra un esquema básico de una instalación solar para producción de agua caliente.

Se distinguen los siguientes equipos:

- Un sistema de captación formado por los captadores solares, encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos. El principio de funcionamiento está basado en el efecto invernadero. En el equipo fundamental de la instalación pueden ser de dos tipos principalmente: captadores solares planos o tubos de vacío.
- Un sistema de intercambio de energía que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.
- Un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso.

FIGURA 2

Esquema de una instalación solar térmica para producción de agua caliente.



- Sistema de regulación y control que se encarga de coordinar los flujos de los diferentes circuitos para maximizar la eficiencia, fiabilidad y durabilidad de la instalación.
- Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el consumo final.
- Un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar, en caso necesario, la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior al previsto. Suele ser una caldera de gas o termo eléctrico.

Existen diversas configuraciones de las instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente. De forma simplificada, de acuerdo al mecanismo responsable del movimiento del fluido a través del circuito primario se diferencian entre instalaciones por termosifón e instalaciones de circulación forzada.

En las instalaciones por termosifón el movimiento del fluido de trabajo se produce por variaciones de densidad del mismo, como consecuencia de variaciones en su temperatura, es decir, circula por convección natural. En las instalaciones de circulación forzada el movimiento del fluido tiene lugar gracias a una bomba de circulación.

Para el caso de pequeña demanda de agua caliente, como por ejemplo en las viviendas unifamiliares, existen en el mercado instalaciones solares térmicas prefabricadas que están formadas por todos los equipos necesarios de la instalación acoplados entre sí y listos para instalar, que se comercializan bajo un solo nombre comercial.

Para el caso de edificios multifamiliares, existen diferentes configuraciones y posibilidades que en cada caso el proyectista debe analizar detalladamente, porque es fundamental la selección de la configuración adecuada para una óptima eficiencia, fiabilidad y durabilidad de la instalación. Por ejemplo, existe la posibilidad de utilizar una instalación completa (captadores, depósitos y caldera auxiliar) centralizada en la cubierta del edificio con un uso compartido por todas las viviendas o, por el contrario, unos captadores

comunes para todas las viviendas pero que cada vivienda disponga de un depósito y termo independiente en cada vivienda, además de otras posibilidades distintas.

En España es obligatorio que los edificios de nueva construcción, los edificios rehabilitados y las piscinas climatizadas deban incorporar instalaciones de energía solar térmica para satisfacer una parte de la demanda de agua caliente. Sólo a título orientativo, en España 1m<sup>2</sup> de captador solar caliente, de media anual, diariamente en torno a 60 litros (en el Norte) y 80 litros (en el Sur). Otra forma de indicarlo es el considerar 0,75 m<sup>2</sup> de captador solar por persona en el Sur y 1 m<sup>2</sup> de captador solar por persona si es el Norte. Los captadores se deben orientar al Sur y si es de uso anual inclinarlos aproximadamente igual a la latitud del lugar.

La otra aplicación es la producción de frío. En la figura 3 se indica el esquema de una instalación solar térmica para producción de frío en refrigeración mediante fancoils. Obsérvese cómo se incluye un equipo de absorción que es el que se utiliza para producir frío mediante un aporte de calor. Piense el lector que es el mismo principio que los frigoríficos de butano que existen en el mercado que producen frío, pero en este caso aportando el calor mediante la combustión del gas.

En España no existe obligatoriedad de instalar este tipo de instalaciones y actualmente están experimentando un gran desarrollo tecnológico.

### 3.2. Situación actual

Se estima que aproximadamente el 40% de los captadores solares instalados en el mundo se encuentran en China. Europa representa tan sólo el 9% del mercado mundial de energía solar térmica, con una potencia instalada de 10.000 MW térmicos por hora a finales de 2004, o lo que es lo mismo, un total de 14 millones de metros cuadrados de captadores solares en funcionamiento.

Aunque los objetivos contemplados por la Comisión Europea en su Libro Blanco todavía están demasiado lejos, lo cierto es que los primeros años de este nuevo milenio han resultado decisivos para el despegue definitivo de la tecnología solar térmica en Europa. El crecimiento de superficie instalada durante 2006 fue del 47%, instalándose aproximadamente 3 millones de metros cuadrados sólo durante ese año. Para 2007 se espera un crecimiento moderado del 17%. No obstante, es difícil alcanzar los objetivos marcados en el Libro Blanco, que se estiman en 100 millones de metros cuadrados instalados en Europa en 2010.

En España, de los 10.000 m<sup>2</sup> nuevos que se instalaban cada año en la década de los noventa se ha pasado a crecimientos medios por encima de los 60.000 m<sup>2</sup> en los primeros años de 2000, hasta llegar a los 90.000 en el año 2005. En estos 15 años se ha experimentado un crecimiento global y sostenido del 15%, sin ser obligatoria su instalación. España es,

FIGURA 3  
Esquema simplificado de una instalación solar térmica para refrigeración.

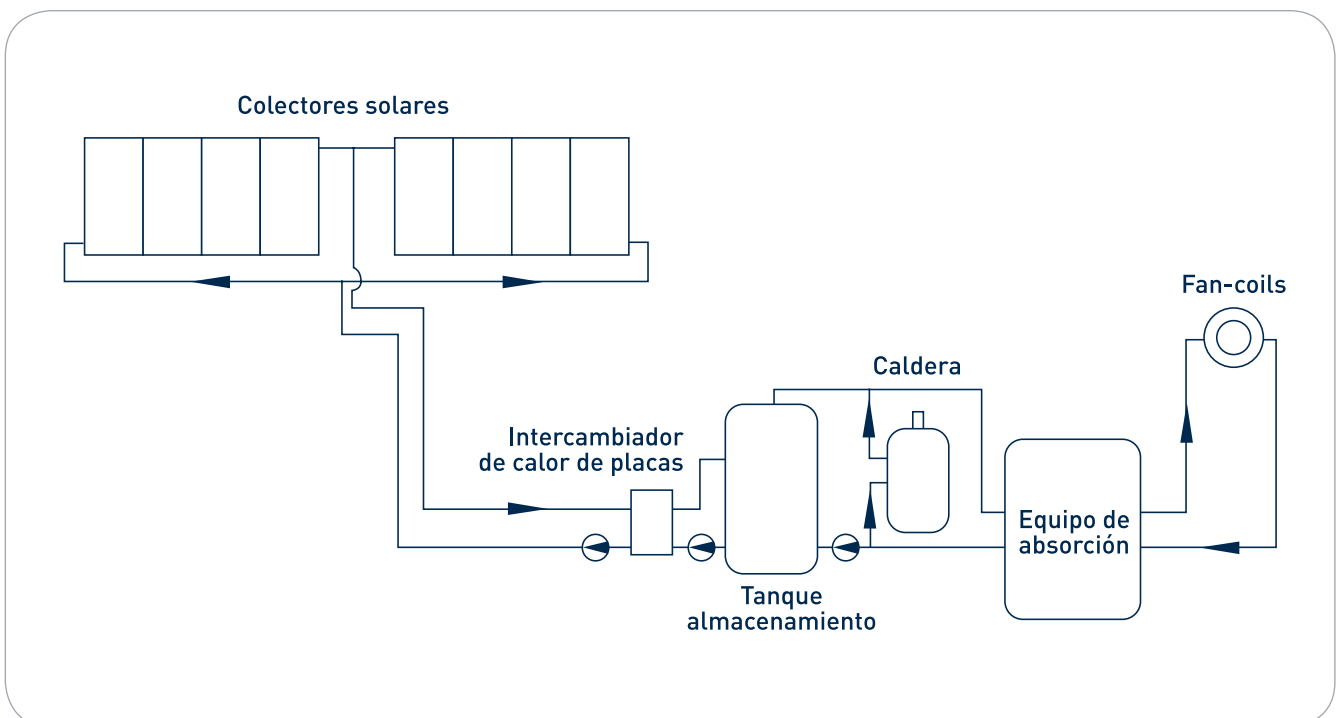


TABLA 2  
Desglose por comunidades autónomas y objetivos para 2010.

Comunidad Autónoma	Acumulado 2006 (m <sup>2</sup> )	Instal. 2006 (m <sup>2</sup> )	Diferencia 2006-10	Total 2010	Incremento 2006-10 (%)	Población	m <sup>2</sup> /1000 habit.	
							2006	2010
Andalucía	292.895	55.913	830.742	1.123.637	3,8	7.975.672	37	141
Aragón	15.035	7.500	77.543	92.578	6,2	1.277.471	12	72
Asturias	17.340	3.767	33.492	50.832	2,9	1.001.062	16	47
Illes Balears	86.244	4.712	350.592	436.836	5,1	1.995.833	86	436
Canarias	110.448	12.399	368.237	478.685	4,3	1.995.833	55	240
Castilla León	57.734	10.000	234.139	291.873	5,1	2.523.020	23	116
Castilla La Mancha	15.999	4.000	286.512	302.511	18,9	1.932.261	8	157
Catalunya	136.699	28.000	435.182	571.881	4,2	7.134.697	19	80
Extremadura	4.126	500	167.365	171.491	41,6	1.086.373	4	158
Galicia	14.406	3.424	47.405	61.811	4,3	2.767.524	5	22
Comunidad de Madrid	80.000	15.000	356.327	436.327	5,5	6.006.183	13	73
Murcia	31.290	7.000	131.934	163.224	5,2	1.370.306	23	119
Navarra	17.857	3.680	72.021	89.878	5,0	601.874	30	149
La Rioja	747	500	20.313	21.060	28,2	306.377	2	69
Valencia	83.255	13.000	364.204	447.459	5,4	480.908	17	93
País Vasco	12.994	5.000	117.427	130.421	10,0	2.133.684	6	61
<b>Total</b>	<b>979.555</b>	<b>175.285</b>	<b>3.920.787</b>	<b>4.900.433</b>	<b>5,0</b>	<b>44.708.964</b>	<b>22</b>	<b>110</b>

Fuente: ASIT.

según datos de 2005, el cuarto país europeo en el aprovechamiento de la energía solar térmica.

En España, debido a la entrada en vigor de la obligatoriedad de las instalaciones solares térmicas en septiembre de 2006, el crecimiento en los próximos años va a ser muy superior, y ya los fabricantes y empresas instaladoras así lo están indicando. Ya en el año 2006 se ha pasado de 795.500 m<sup>2</sup> a cerca

de 1 millón de m<sup>2</sup> instalados, con lo que se ha roto la tendencia del 15% de crecimiento para entrar en un porcentaje del 22,6%. Este valor representa que en 2006 existe una media de 22 m<sup>2</sup> de superficie instalada por cada 1.000 habitantes. En el año 2008 comenzarán a habitarse las viviendas que se han construido teniendo en cuenta las exigencias del Código Técnico de la Edificación, disponiendo todas ellas de instalaciones solares térmicas.

### 3.3. Aspectos tecnológicos

#### Captadores solares

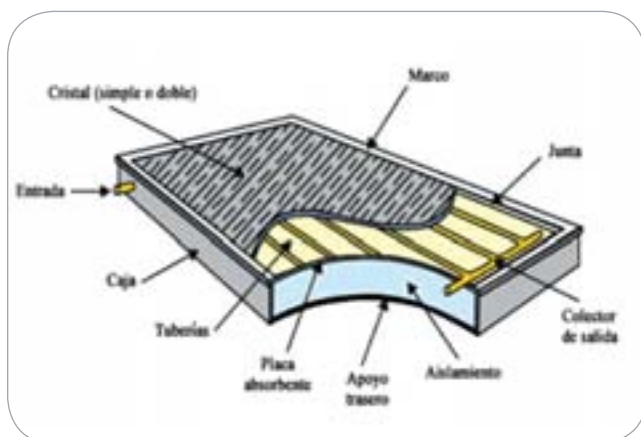
Como se ha indicado, el componente principal es el captador solar. Éste puede ser del tipo captador plano o de tubo de vacío.

#### Captadores solares planos

Están formados por una parrilla o serpentín de tubos soldados a una chapa absorbidora. Esta superficie es cubierta de una pintura negra o un recubrimiento selectivo que favorece la absorción y disminuye la emisión de energía para aumentar la ganancia térmica por parte del fluido. Estos tubos y chapa absorbidora suelen ser de cobre o aluminio, existiendo comercialmente captadores de materiales plásticos de menor eficiencia. Para disminuir las pérdidas térmicas incorporan un aislamiento térmico en la parte posterior y lateral, típicamente lana de roca. En la parte frontal llevan un vidrio solar (bajo contenido en óxidos de hierro) que permite la entrada de radiación solar ultravioleta y limita la salida de la radiación infrarroja emitida por el absorbedor, favoreciendo así el efecto invernadero y aumentando la temperatura en el interior del captador. La superficie de estos captadores es del orden de 2 m<sup>2</sup> por unidad.

FIGURA 4

Componentes de un captador solar térmico.



#### Captadores de tubos de vacío.

Este tipo de captadores están formados por una serie de tubos cilíndricos de vidrio. Existen fundamentalmente dos tipos de captadores de esta tecnología, de "flujo directo" y "heat-pipe". Los tubos de vacío de "flujo directo" transfieren la energía proveniente del sol directamente al fluido del circuito primario; en muchos casos, por su interior se coloca una tubería en forma de U por la que circula el fluido a calentar. Esta tubería tiene soldada una aleta de cobre y aluminio que es equivalente a la chapa absorbidora del captador solar plano y va recubierta igualmente por una

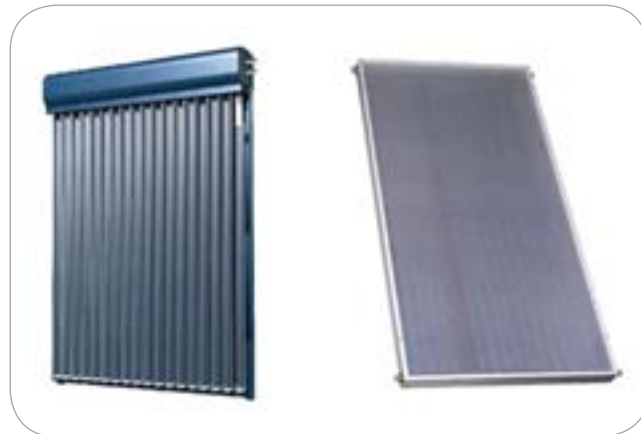
pintura selectiva. Los tubos de vacío "heat-pipe" utilizan un fluido diferente en el interior de los tubos (normalmente alcoholes). La radiación solar calienta este fluido provocando su evaporación y movimiento hacia la parte superior del captador (manifold), donde hay colocado un condensador que transmite la energía al fluido del circuito primario y vuelve al estado líquido descendiendo nuevamente por el tubo.

La principal diferencia que presentan respecto a los captadores solares planos es que se realiza el vacío en el interior de los tubos de vidrio. El vacío disminuye de forma importante las pérdidas térmicas, anulando prácticamente las pérdidas por convección, permitiendo alcanzar mejores eficiencias en este tipo de captadores a mayores temperaturas de funcionamiento, aunque es más caro.

En la figura 5 se presentan imágenes de ambos tipos de captadores.

FIGURA 5

Captador tubo de vacío (izquierda) y captador solar plano (derecha).



Los tubos de vacío son más eficientes que los captadores planos cuando se requieren altas temperaturas de agua caliente (por encima de 80 °C - 90 °C), o en climas poco cálidos como el norte de Europa, y además tienen la ventaja de que posibilitan una mejor integración arquitectónica, al ser menos sensibles a la orientación e inclinación de instalación.

Sin embargo, los tubos de vacío presentan los siguientes inconvenientes frente a los captadores planos:

- El precio de un tubo de vacío es del orden de 2-3 veces superior al de un captador plano.
- La instalación de un captador de tubo de vacío es más cara al requerir mayor tiempo y formación.



- La manipulación de un tubo de vacío es más delicada, debido a una menor resistencia. Este hecho también los condiciona a lo largo de su vida útil.
- La vida útil de un tubo de vacío es menor, sobre todo debido a las pérdidas de las condiciones de vacío. La garantía de los fabricantes de tubos de vacío son 2-3 años, frente a los 8-10 años de los captadores planos.

En España, para la producción de agua caliente se utilizan mayoritariamente captadores planos, y para instalaciones de refrigeración, captadores de tubos de vacío.

Además de los captadores existen otros componentes como depósitos, intercambiadores, aislamientos, accesorios, sistemas de control, etc., que también tienen una gran

importancia en las prestaciones de la instalación y que actualmente están en procesos de mejoras tecnológicas y de costes.

### Máquinas de absorción

Las máquinas de absorción tienen como objetivo producir frío a partir de un aporte de calor. En el mercado existen máquinas de gran tamaño (desde 300 kW hasta 5,2 MW) accionadas con vapor a presión. Estos modelos no se adaptan por tamaño a la energía solar térmica.

Para potencias menores a los 300 kW, son pocas las empresas que ofrecen algún equipo. Sanyo y Yazaki disponen de equipos de absorción H<sub>2</sub>O-LiBr activados con agua, de potencias menores a 300 kW. Yazaki comercializa dos modelos de 35 kW y 105 kW y Sanyo tiene un modelo de 105 kW. Estos equipos son fabricados para ser accionados

TABLA 3

Comparativa de las condiciones nominales, las especificaciones técnicas y el coste de los equipos de absorción de pequeña potencia muy útiles para energía solar térmica.

Equipo	Rotartic	Wegracal SE 15	Phönix	ClimatWell 10
Fabricante / País	Rotartica, SA / España	EAW, Institute of Air-Conditioning and Refrigeration / Dresden, Alemania	Phönix SonnenWärme AG, ZAE Bayern, Technical University of Berlin / Alemania	ClimateWell
Fluido de trabajo	H <sub>2</sub> O/LiBr	H <sub>2</sub> O/LiBr	H <sub>2</sub> O/LiBr	H <sub>2</sub> O/LiCl
COP	igual o semejante ≅ 0,66	0,75	0,82	0,68
Potencia frigorífica (kW)	5,6 (agua-agua) 4,2 (aire-agua)	15	10	9
Temp. agua fría (entrada/salida)	12/7 (agua-agua) 20/18 (aire-agua)	18/15	18/15	-15
Temp. agua caliente (entrada/salida) ( °C)	80/-	90/80	75/65,3	80/70
Temp. agua de refrigeración (entrada/salida) ( °C)	29/- (disipación húmeda) 38/42 (ambiente) (disipación seca)	32/36	27/34,7	30/35
Potencia eléctrica (W)	1.200 (aire-agua) 600 (agua-agua)	-	-	170
Coste aprox. (€)	12.000	14.900	-	16.000

con fuentes de baja temperatura (90 °C) y por tanto aptos para el uso de energía solar térmica. El coste de un equipo de absorción de H<sub>2</sub>O-LiBr de simple efecto es del orden de 260 €/kW de refrigeración, y un sistema de doble efecto tiene un coste del orden de 280 €/kW de refrigeración.

Con respecto a la mezcla amoniaco-agua (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), solamente tres empresas fabrican equipos de absorción que utilicen esta mezcla de fluidos, Colibrí bv (Países Bajos), Robur (Italia) y Carrier Corporation (Estados Unidos). Estos equipos eran fabricados inicialmente para la industria de la refrigeración industrial de grandes potencias (250 kW-700 kW), para temperaturas de evaporación cercana o por debajo de 0 °C, pero actualmente estos equipos son los más comunes en aplicaciones domésticas de pequeña potencia (10 kW-17,4 kW).

Actualmente están apareciendo en el mercado equipos de refrigeración por absorción de baja potencia (idóneos para su accionamiento con energía solar térmica en aplicaciones de los sectores doméstico y comercial) activados con temperaturas de 90 °C o inferiores. Estos fabricantes de máquinas de pequeña potencia son los resumidos en la tabla 3.

### 3.4. Obligatoriedad de instalaciones solares térmicas

Desde el 29 de septiembre de 2006, el Código Técnico de la Edificación establece, en el documento básico HE4, que todos los edificios de nueva construcción y los rehabilitados que tengan una demanda de agua caliente sanitaria superior a 50 l al día, y las piscinas cubiertas climatizadas, deben disponer de instalaciones solares térmicas que satisfagan un porcentaje de su demanda de agua caliente.

Los usuarios deben conocer que tienen derecho a que en los nuevos edificios que adquieran, parte de la demanda térmica necesaria para calentar el agua caliente se tiene que aportar desde una instalación solar. Además, tienen la obligación de encargar un mantenimiento adecuado reflejándolo en un libro de mantenimiento del edificio.

El porcentaje de la demanda de agua caliente que hay que satisfacer con energía solar depende de la zona climática, de la demanda total de agua caliente del edificio o piscina y del tipo de energía auxiliar que se utilice.

Si el edificio es una vivienda unifamiliar, la instalación que se debe instalar es una del tipo prefabricada. En la tabla 4, se indica un orden de magnitud del tamaño mínimo del depósito solar y de la superficie de captadores mínima requerida en una zona climática IV con aporte de energía auxiliar con gas, en una vivienda unifamiliar en función del número de dormitorios que tenga la vivienda.

**TABLA 4**  
Orden de magnitud del tamaño mínimo exigido a una instalación solar térmica en una vivienda unifamiliar, en función del número de dormitorios, para una zona climática IV con aporte de gas como energía auxiliar.

Dormitorios	Demanda de agua (litros a 60° C)	Superficie mínima (m <sup>2</sup> )	Depósito solar mínimo (l)
1	45	0,0	0,0
2	90	2,7	136,5
3	120	3,6	182,0
4	180	5,5	273,0
5	210	6,4	318,5
6	240	7,3	364,0
7	270	8,2	409,5

**TABLA 5**  
Orden de magnitud del tamaño mínimo exigido a una instalación solar térmica en un edificio multifamiliar, en función del número de personas con viviendas de 3 dormitorios, para una zona climática IV con aporte de gas como energía auxiliar.

Personas/ (Viviendas 3 dormitorios)	Demanda (litros a 60° C)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Depósito solar mínimo (l)
30/(7,5)	660	20,0	1.001,0
60/(15)	1.320	40,0	2.002,0
100/(20)	2.200	66,7	3.336,7
150/(37,5)	3.300	100,1	5.005,1
400/(100)	8.800	266,9	13.346,8
6	240	7,3	364,0
7	270	8,2	409,5

Si el edificio es multifamiliar, hay que prestar especial atención a la selección de la configuración de la instalación solar para que todas las viviendas puedan aprovechar la radiación solar de forma óptima con una adecuada eficiencia y coste. En la tabla 5 se indica un orden de magnitud del tamaño mínimo del depósito solar y de la superficie de captadores mínima requerida en una vivienda multifamiliar, para una zona climática IV con aporte de energía auxiliar con gas, en función del número de personas, suponiendo que el edificio dispone de viviendas de tres dormitorios que tenga el edificio.

Para otros usos como restaurantes, fábricas, hospitales, hoteles, etc., la HE4 indica la demanda que debe utilizarse en los cálculos.

### 3.5. Aspectos económicos

Las instalaciones solares térmicas tienen un coste en España del orden de 600 €/m<sup>2</sup> - 1.000 €/m<sup>2</sup> de superficie de captador instalada, en función del tamaño y características de cada instalación. Debido a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, los programas de subvención que existen en las comunidades autónomas para este tipo de instalaciones se ha centrado en aquellas instalaciones solares térmicas que el usuario decide realizar de forma voluntaria, sin que sea obligatoria su instalación. Por ejemplo, en una vivienda existente donde no se realice ninguna rehabilitación, es muy posible que se obtenga subvención para la instalación solar térmica. El usuario interesado deberá preguntar en la agencia de la energía de su localidad o comunidad autónoma.

Desde el punto de vista de los usuarios de estas instalaciones, deben tener presentes que son viables económicamente frente a otras alternativas como termos eléctricos o de gas. Sin embargo, para su completa satisfacción deben exigir una buena cualificación profesional y experiencia a la empresa instaladora, así como a los componentes de la instalación, ya que cuando el mercado crece tan rápido existen muchas empresas con muy poca o nula experiencia que quieren introducirse en el mismo sin los conocimientos adecuados, ocasionando graves perjuicios a los usuarios y al propio sector.

Desde el punto de vista empresarial, el mercado está experimentando un gran crecimiento tanto en España como en el resto del mundo, permitiendo una oportunidad de negocio, tanto en la fabricación y comercialización de componentes como en la instalación de los mismos.

Desde el punto de vista social, estas instalaciones permiten una gran creación de empleo, que se estima en unos 16 empleos en esta industria por cada millón de euros invertidos.

### 3.6. Normativa

La normativa técnica y administrativa para este tipo de instalaciones, no incluyendo las referidas a incidencias ambientales y/o riesgos laborales, es la siguiente:

- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas, como ayuntamientos, consejerías de Medio Ambiente, Obras Públicas, Industria, etc., de cada comunidad. En la mayoría de las comunidades autónomas existe normativa técnica y/o administrativa, ordenanzas municipales, etc., que complementa la normativa nacional general.

### 3.7. Direcciones de interés

Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT)  
Avenida del Doctor Arce, 14. 28002 Madrid  
Teléfono: 91 411 01 62  
admin@asit-solar.com  
[www.asit-solar.com](http://www.asit-solar.com)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)  
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio  
Calle de la Madera, 8  
28004 Madrid  
Teléfono: 91 456 49 00  
[www.idae.es](http://www.idae.es)

Federación de la Industria Solar Térmica Europea (ESTIF)  
Rue d'Arlon 63-65  
B-1040 Bruselas  
Teléfono: 32-2-54 619 38  
info@estif.org  
[www.estif.org](http://www.estif.org)

Solar Heating and Cooling Programme  
Agencia Internacional de la Energía  
Teléfono: +1/231/6200634  
pmurphy@MorseAssociatesInc.com  
[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)

Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC)  
[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

## 4. Energía solar fotovoltaica

204

### 4.1. Aspectos básicos

Una instalación solar fotovoltaica tiene como objeto producir electricidad directamente a partir de la radiación solar.

Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares asociadas entre sí. Las células solares son los dispositivos encargados de la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica en forma de corriente continua, y es el principal componente de una instalación fotovoltaica. En el módulo, mientras más radiación incida y menor sea su temperatura mayor es su producción. En su ubicación hay que procurar que no reciba sombras, ya que en estos casos su rendimiento disminuye considerablemente. La orientación del módulo que más produce en posición fija es la Sur.

En las instalaciones fotovoltaicas pueden existir otros componentes, como, por ejemplo: el inversor, que sería el dispositivo que transforma la corriente continua en corriente alterna; la batería, que se encargaría de almacenar la energía, y el regulador de tensión, que es un dispositivo básicamente para el control y protección de la batería.

Las instalaciones fotovoltaicas se agrupan en dos grandes grupos en función del objeto de la misma. Por un lado

están las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red, que tienen como objeto cubrir las necesidades de energía eléctrica en un lugar determinado normalmente aislado de la red eléctrica convencional. Entre las instalaciones fotovoltaicas aisladas las aplicaciones más frecuentes son suministro eléctrico para bombeo de agua para riego, ganado o abastecimiento humano; electrificación rural para casas en el campo, suministro eléctrico para instalaciones de telecomunicaciones, señalización e iluminación para carreteras, túneles, etc., y también para pequeños suministros eléctricos en juguetería, relojería, etc. Existen muchas configuraciones de este tipo de instalaciones en función de la aplicación. Estas instalaciones aisladas disponen de módulos fotovoltaicos y además suelen incluir otros equipos como baterías, inversores y reguladores.

Por otro lado están las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, que tienen como objetivo fundamental inyectar la energía producida a la red de la compañía eléctrica obteniendo unos ingresos con esta venta de energía.

Estas instalaciones, además de los módulos fotovoltaicos, llevan un inversor, unas protecciones eléctricas y contadores. Su esquema unifilar está regulado por la Resolución de 31 de mayo de 2001 de la Dirección General de Política Energética y Minas (BOE número 148/2001). Por este motivo, está prohibida la incorporación de baterías, generadores eléctricos, etc., dentro de la instalación.

FIGURA 6

Esquema de una instalación fotovoltaica para una vivienda aislada.

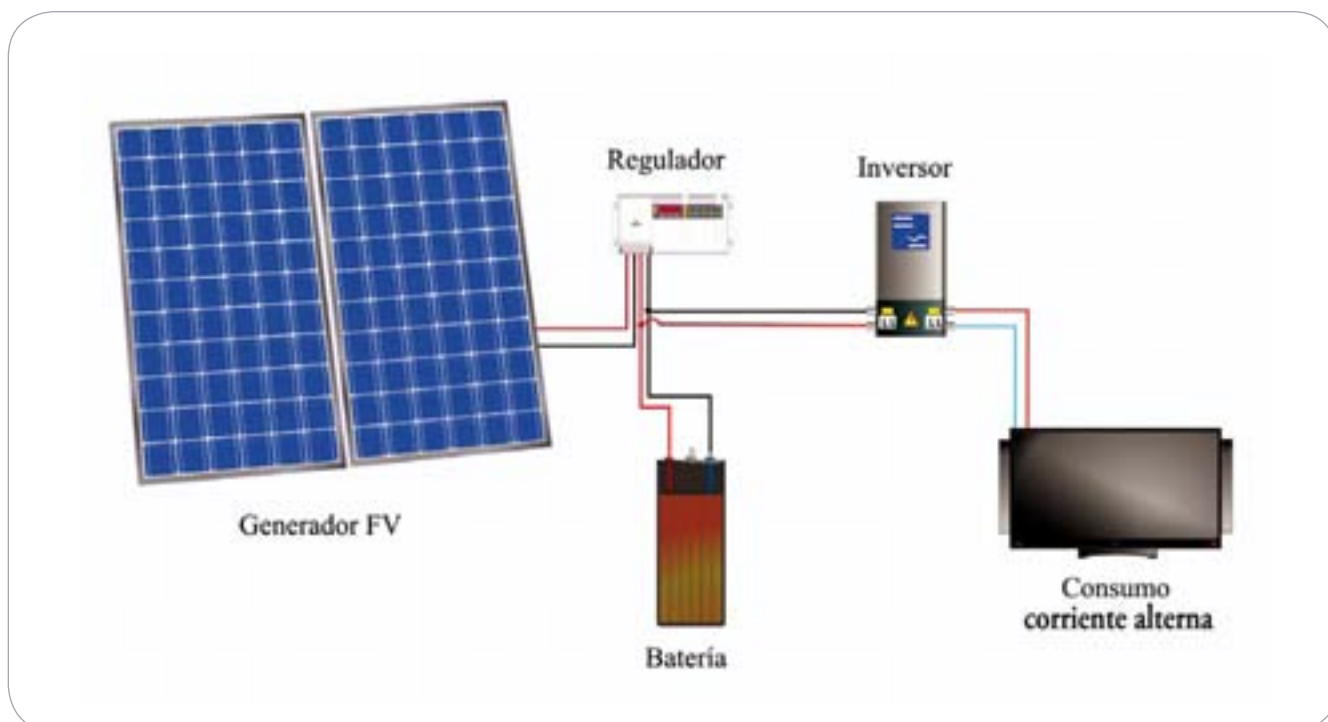


FIGURA 7

Esquema de componentes de una instalación fotovoltaica de conexión a red.



Este tipo de instalaciones está muy regulado por la legislación y, de acuerdo a ella, toda la energía que producen hay que venderla a la red eléctrica, recibiendo el titular una cantidad de dinero por esa venta. Dentro de esta configuración están los huertos solares.

En España, desde hace pocos años se está produciendo un espectacular incremento de este tipo de instalaciones debido fundamentalmente al marco económico impulsado por el Gobierno.

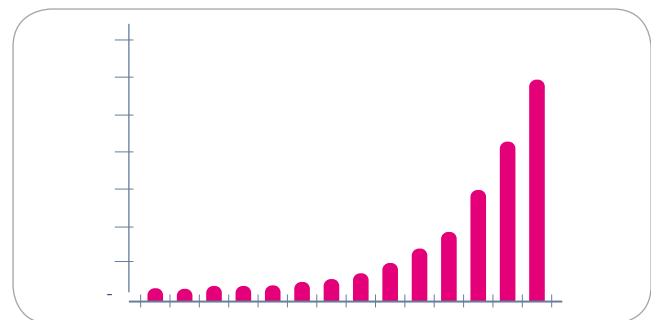
#### 4.2. Situación actual

Las instalaciones fotovoltaicas han crecido de forma casi exponencial en los últimos años, como se aprecia en la figura adjunta, y las expectativas son que esta forma de crecimiento va a continuar.

El motivo de este crecimiento es debido al impulso generalizado en los países desarrollados (en instalaciones conectadas a la red) por ser una energía renovable, muy sostenible debido a su poca incidencia ambiental, distribuida (se puede utilizar en cualquier lugar) y produce energía en las horas de mayor demanda. En la mayoría de los países desarrollados se está introduciendo un marco económico que permite que se incorporen al sistema eléctrico nacional instalaciones fotovoltaicas distribuidas en viviendas y en plantas de no muy elevada potencia (<10 MW). En un futuro inmediato, en el cual la producción eléctrica tiende a ser más distribuida, esta tecnología va a tener un papel importante.

FIGURA 8

Evolución de la producción mundial de módulos fotovoltaicos (MWp).



Fuente: EuroObserv'er.

También en los países en vías de desarrollo su uso ha crecido (sobre todo instalaciones aisladas) debido a que permite garantizar unas prestaciones eléctricas mínimas a muchas personas sin acceso a redes eléctricas.

En la tabla 6 se refleja la distribución de la potencia instalada en Europa en instalaciones aisladas y conectadas a la red en los años 2005 y 2006.

Desde el punto de vista de fabricantes de células fotovoltaicas, en la tabla 7 se indican los mayores productores. Obsérvese el crecimiento de la producción en todos ellos en un solo año.

TABLA 6

Evolución de la potencia instalada en Europa, en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red y aisladas.






Países	Conectada	2005 Aislada	Total (MWp)	2006 Conectada	Aislada	Total (MWp)
Alemania	863,000	3,000	866,000	1.150,000	3,000	1.153,000
España	13,700	0,800	14,500	59,500	1,000	60,500
Italia	15,300	0,300	15,600	11,000	0,600	11,600
Francia	3,553	1,776	5,329	6,114	0,300	6,414
Austria	4,633	0,208	4,841	4,785	0,215	5,000
Reino Unido	2,567	0,146	2,713	2,600	0,150	2,750
Bélgica	0,795	0,000	0,795	2,103	0,000	2,103
Grecia	0,156	0,745	0,900	0,201	1,049	1,250
Suecia	0,060	0,311	0,371	0,400	0,250	0,650
Chipre	–	–	–	0,440	0,080	0,520
Portugal	0,073	0,215	0,288	0,227	0,250	0,477
Países Bajos	1,547	0,150	1,697	0,300	0,150	0,450
Irlanda	0,000	0,200	0,200	–	–	–
Rep. Checa	0,111	0,003	0,114	0,241	0,000	0,241
Dinamarca	0,320	0,040	0,360	0,200	0,030	0,230
Eslovenia	0,076	0,004	0,080	0,183	0,000	0,183
Polonia	0,016	0,067	0,083	0,087	0,027	0,114
Finlandia	0,030	0,270	0,300	0,064	–	0,064
Luxemburgo	0,044	0,000	0,044	0,042	0,000	0,042
Hungría	0,010	0,007	0,017	–	–	–
Malta	0,009	0,000	0,009	0,033	0,000	0,033
Lituania	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,023
Estonia	0,000	0,001	0,001	0,000	0,005	0,005
Eslovaquia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004
Letonia	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
<b>Total UE</b>	<b>905,999</b>	<b>8,243</b>	<b>914,242</b>	<b>1.238,520</b>	<b>7,134</b>	<b>1.245,654</b>

TABLA 7  
Fabricantes de células fotovoltaicas en 2005 y 2006.

Fabricante	País	Producción 2005 (MWp)	Producción 2006 (MWp)	Capacidad en 2006
Sharp	Japón	427,5	434,7	600,0
Q-Cells	Alemania	165,7	253,1	420,0
Suntech	China	82,0	160,0	330,0
Sanyo	Japón	125,0	155,0	165,0
Kyocera	Japón	142,0	180,0	240,0
Bp Solar	Reino Unido	85,8	85,6	200,0
Motech	Taiwan	60,0	102,0	200,0
Solarworld	Alemania	37,5	90,0	190,0
Mitsubishi	Japón	100,0	111,0	135,0
Schott Solar	Alemania	92,0	93,0	129,0
Isofotón	España	75,0	61,0	130,0
Photowatt	Francia	32,3	35,0	50,0

Fuente: EuroObserv'er.

TABLA 8  
Características de los diferentes tipos de módulos fotovoltaicos comerciales.

Tipo de célula	Rendimiento de célula en laboratorio $\eta_{cl}$ (%)	Rendimiento de célula en fábrica $\eta_{ci}$ (%)	Rendimiento de módulo en fábrica $\eta_{mi}$ (%)	Superficie para 1 kWp (m <sup>2</sup> )	Coste (€/Wp)	Prestaciones
Silicio monocristalino 	25	18	14	7 - 9	3,0 - 4	Muy buena
Silicio policristalino 	20	15	13	8 - 11	2,9 - 3,95	Muy buena
Silicio amorfo (lámina delgada) 	13	10	7,5	16 - 20	2,5 - 4	Regular
Teluro de cadmio (CdTe) (lámina delgada) 	16,3	10	9	14 - 18	2,5 - 4	Regular
Diselenio de indio-cobre (CIS) (lámina delgada) 	18,5	13,9	9,9	11 - 13	2,1 - 3,9	Regular

### 4.3. Aspectos tecnológicos

#### Célula solar

La célula solar es el componente fundamental de cualquier instalación fotovoltaica. Es un elemento tan fiable que los fabricantes suelen dar garantías de su comportamiento por plazos superiores a 20 años. En la actualidad la vida útil de este dispositivo es superior a 35 años.

En la tabla 8 se indican las características de los principales tipos de las células solares que existen a nivel comercial, observando que una célula fabricada en un laboratorio tiene mayor eficiencia que una célula fabricada a nivel industrial o que un módulo fotovoltaico, que es una asociación de células y que tienen unas pérdidas asociadas.

Del total de módulos fotovoltaicos instalados a nivel mundial, el 90% - 95% son de células de silicio monocristalino y de células de silicio policristalino, siendo una muy pequeña parte (<2%) de células de CdTe y células de CIS y el resto (3% - 7%) son módulos de células de silicio amorfo. Entre el silicio monocristalino y el policristalino no hay una gran diferencia: el monocristalino es ligeramente más eficiente (ocupa por tanto menos superficie para igual potencia) pero es ligeramente más caro. Para tomar una decisión entre uno de los dos, habría que conocer en cada momento los datos económicos y técnicos de los posibles módulos para una instalación. Ambos presentan una gran durabilidad de sus prestaciones eléctricas, aportando hoy día los fabricantes, garantías del orden de 20-25 años de al menos el 80% de sus prestaciones durante todo el periodo.

En general, el grupo de módulos de lámina delgada (CdTe, CIS y silicio amorfo) presenta la particularidad de que sus prestaciones son inferiores, en general, debido a eficiencia, y disminuyen más rápidamente con el tiempo, sobre todo durante el primer año, donde pueden alcanzar una reducción del orden de hasta el 20% debido al envejecimiento por inducción de la radiación (efecto Staebler-Wronski). Además, se tiene menos experiencia en procesos de fabricación y garantía a muy largo plazo. Hay que destacar que en los últimos años se ha avanzado mucho en la solución de estas desventajas.

Otros tipos de células, que en los próximos años van a tender a ser comerciales, son las células tipo híbridas HIT (que ya están apareciendo en el mercado), células de colorantes, células orgánico/poliméricas, etc.

A modo de resumen, existen múltiples líneas de investigación en nuevas células solares. El objetivo a alcanzar a corto-medio plazo es la reducción del coste de la energía producida mediante este tipo de instalaciones. Para ello se está investigando en múltiples direcciones pero que se podrían agrupar en dos. Por un lado, en producir células muy baratas, aunque su eficiencia no sea muy elevada (dentro de este grupo están las células de dispositivos de película delgada, como a-Si, CdTe, CIGS, células orgánico/poliméricas...), con eficiencias actuales en torno al 6% - 10% y costes del orden 1,5 €/Wp - 2,5 €/Wp, y por otro lado en producir células muy eficientes aunque su coste sea mayor, pero que normal-

mente se compensa debido a que se utilizan con dispositivos de concentración de la radiación solar y/o dispositivos de seguimiento de la posición del Sol. Las eficiencias actuales de este grupo se sitúan en torno al 14% - 17% y sus costes del orden de 3 €/Wp - 7 €/Wp.

En los próximos años se va a producir una mejora en la relación energía producida/coste que va a permitir que esta tecnología avance en un uso más mayoritario por los ciudadanos.

#### Sistemas de seguimiento de la posición del Sol

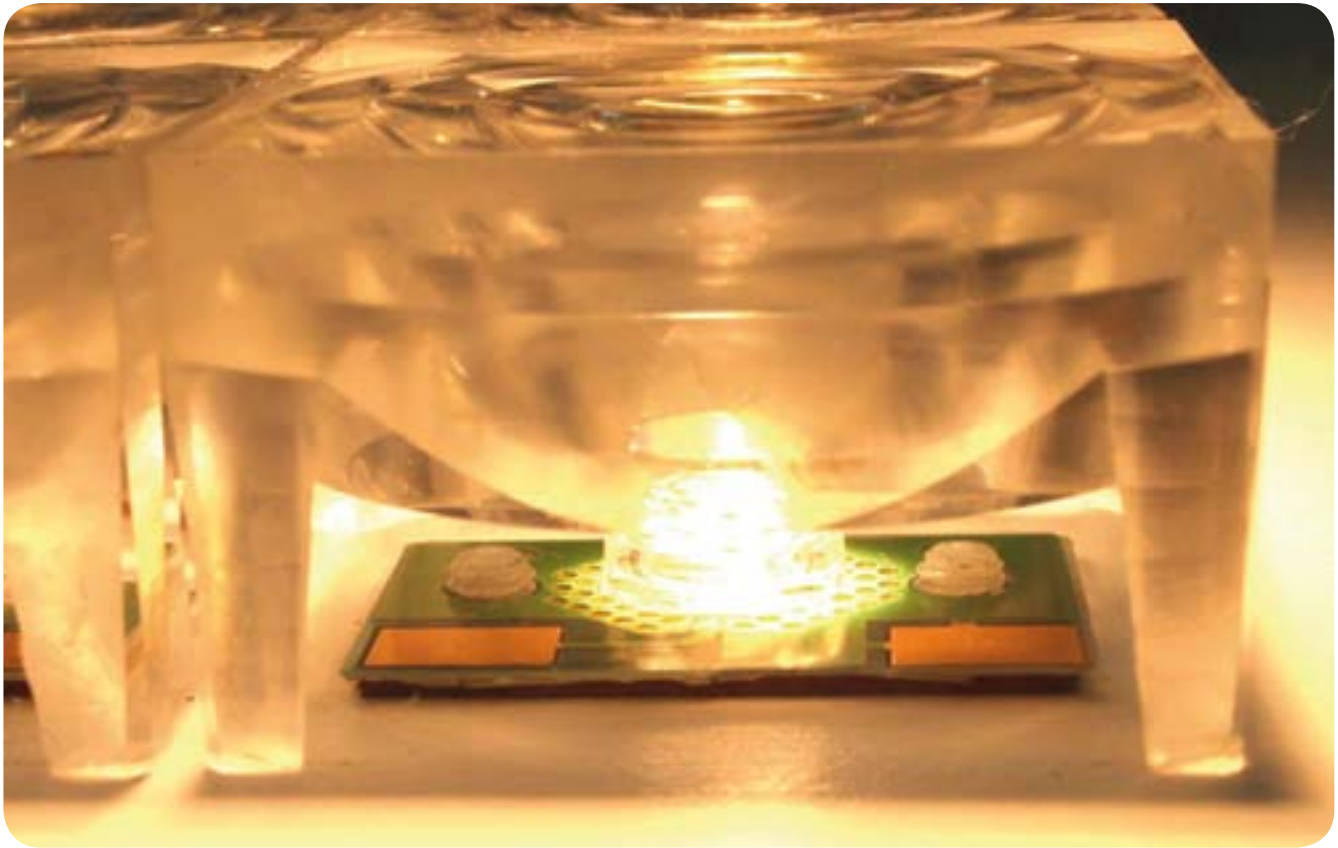
Otra alternativa tecnológica es la de situar los módulos fotovoltaicos fijos o sobre alguna estructura soporte con movimiento que permita a los módulos fotovoltaicos el seguimiento de la posición del Sol. En la actualidad existen numerosos fabricantes de seguidores solares tanto en dos ejes como en un eje.

Si se incorpora un sistema de seguimiento, el módulo fotovoltaico recibe más radiación solar y se producirá más energía eléctrica. El incremento de radiación incidente en un módulo fotovoltaico que esté sobre una estructura con seguimiento respecto a la posición fija no es el mismo en todo el mundo, sino que depende del lugar. En lugares donde normalmente está nublado (por ejemplo, Londres) el incremento de radiación captada es mucho menor que en lugares donde normalmente no existen muchas nubes (por ejemplo, Sevilla).



Módulos fotovoltaicos comerciales con concentración solar 2X en Sevilla PV. Plataforma Solúcar. Abengoa Solar.





Célula solar de arseniuro de galio, con concentración de la radiación 1000X desarrollada por Isofotón.

Por el contrario, los sistemas de seguimiento de la posición del Sol tienen el inconveniente de que se incrementan los costes de inversión y de mantenimiento respecto a los módulos situados en estructura fija, y cada caso particular merece un estudio detallado. En los últimos años, en España se han realizado instalaciones con módulos en estructura fija, con estructuras con seguimiento en un eje (ganancias de radiación hasta un 24% frente a fijo óptimo) y con seguimiento en dos ejes (ganancias de radiación en el entorno del 30% frente a fijo óptimo). En cada caso, se aconseja analizar bien las ganancias de radiación y de producción eléctrica en cada lugar frente a los costes del sistema de seguimiento frente a fijo.

#### Concentración solar

La concentración solar tiene como objetivo que en la célula solar incida más radiación que la correspondiente a su superficie. A nivel terrestre, la máxima irradiancia que puede incidir en una célula sin concentración es de unos  $1.000 \text{ W/m}^2$ , mientras que este valor se puede multiplicar enormemente (a nivel comercial, hasta 1.000 veces) si se utilizan dispositivos concentradores de la radiación como espejos, sistemas ópticos, etc. Además, se están comenzando a desarrollar células específicas para concentración con eficiencias superiores a las actuales (hasta el 40%) aunque su coste sea más elevado.

TABLA 9

Usos y límites mínimos de aplicación para instalaciones fotovoltaicas en el Código Técnico de la Edificación.

Uso	Límite de aplicación	
Comercial hipermercado	5.000	Superficie construida ( $\text{m}^2$ )
Multitienda y centros de ocio	3.000	Superficie construida ( $\text{m}^2$ )
Nave almacenamiento	10.000	Superficie construida ( $\text{m}^2$ )
Oficinas	4.000	Superficie construida ( $\text{m}^2$ )
Hoteles y hostales	100	Plazas
Hospitales y clínicas	100	Camas
Pabellones de recintos feriales	10.000	Superficie construida ( $\text{m}^2$ )

Los sistemas de concentración requieren de sistemas de seguimiento de la posición del Sol en dos ejes y de buenos disipadores térmicos para evitar el calentamiento excesivo de la célula.

En España, Abengoa Solar dispone de la planta fotovoltaica Sevilla PV en Sanlúcar La Mayor (Sevilla) de 1,2 MWp, con células comerciales de silicio monocristalino con una concentración de la radiación hasta dos veces (2X), mediante espejos a ambos lados de cada módulo.

También en España, la empresa española Isofotón está a punto de sacar al mercado una célula de arseniuro de galio (GaAs) de 1 mm<sup>2</sup> de superficie dotada con un concentrador de hasta 1.000 veces la radiación solar.

Desde el punto de vista tecnológico, se ha creado en Puertollano (Ciudad Real) el Instituto de Sistemas Fovoltáicos de Concentración (ISFOC) para potenciar la investigación y desarrollo de plantas fotovoltaicas con concentración.

#### 4.4. Obligatoriedad de instalaciones fotovoltaicas

El Código Técnico de la Edificación establece, en el documento básico HE5, que todos los edificios de nueva construcción y los rehabilitados, que tengan el uso y la superficie mínima indicada en la tabla adjunta, deberán incluir obligatoriamente una instalación fotovoltaica de conexión a red.

El tamaño de la instalación mínima a instalar en el edificio viene descrito en el Código Técnico de la Edificación y depende de la superficie total construida del edificio, zona climática y del uso del mismo. A título orientativo, por ejemplo, para un hipermercado situado en Jaén (zona climática IV), de 8.000 m<sup>2</sup> de superficie, sería obligatorio una instalación mínima de 16,63 KWp (unos 130 m<sup>2</sup> de superficie de captación).

Además, el Código Técnico de la Edificación establece unas limitaciones en cuanto a inclinación de los módulos, orientación y sombras.

#### 4.5. Aspectos económicos

##### Instalaciones de conexión a red

El coste de este tipo de instalaciones (con todos los conceptos incluidos) varía entre 650 €/m<sup>2</sup> y 850 €/m<sup>2</sup> de superficie de módulo fotovoltaico instalado (5 €/Wp y 6,5 €/Wp).

En la tabla 10 se indica un desglose orientativo de los costes de una instalación fotovoltaica fija conectada a la red de un

tamaño del orden de 100 kWp. Si la instalación es más grande, el coste puede ser ligeramente inferior, y si es más pequeña, ligeramente superior.

Los ingresos obtenidos por la energía producida por este tipo de instalaciones, dependen de la potencia del inversor. En el Real Decreto 661/2007 se describen con detalle las distintas posibilidades de ingresos económicos (tarifa regulada o tarifa en el mercado de producción eléctrica, TMR). En la tabla 11 se indican los ingresos que se obtendrían por la venta de la energía inyectada a la red con la tarifa regulada.

En la actualidad, la mayoría de los bancos y cajas tienen líneas de financiación para este tipo de instalaciones de hasta aproximadamente el 80% de la inversión. El plazo de

TABLA 10  
Estructura de costes aproximada, referida a Wp instalados, para una instalación fotovoltaica fija de conexión a red para un tamaño mínimo de unos 100 kWp.

Componentes	Precio
Módulos fotovoltaicos	3,20 €/Wp
Estructuras soporte	0,34 €/Wp
Inversor + protecciones + contador + cableado	0,67 €/Wp
Vallado + vigilancia + sistema de monitorización	0,08 €/Wp
Montaje y puesta en marcha	0,14 €/Wp
Obra civil de acondicionamiento de terrenos	0,18 €/Wp
Infraestructura de media tensión (si existe)	0,12 €/Wp
Ingeniería, gastos de promoción, gastos generales, gastos de administración y beneficio industrial	1,12 €/Wp
<b>Total coste instalación</b>	<b>5,85 €/Wp</b>

TABLA 11  
Tarifa regulada para instalaciones fotovoltaicas según  
Real Decreto 661/2007.

Potencia nominal inversor	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh
P ≤ 100 kW	Primeros 25 años	44,0381
	A partir de entonces	35,2305
100 kW < P ≤ 10 MW	Primeros 25 años	41,7500
	A partir de entonces	33,4000
10 < P ≤ 50 MW	Primeros 25 años	22,976
	A partir de entonces	18,3811

amortización de este tipo de inversiones está entre 12 y 16 años aproximadamente, con una TIR que puede oscilar alrededor del 10% (obviamente, depende de las condiciones financieras, del lugar y los costes específicos de cada instalación).

Un aspecto importante para el lector interesado es que, según se establece en el artículo 22 del Real Decreto 661/2007, estas condiciones económicas pueden ser modificadas aproximadamente en septiembre de 2008, al haberse alcanzado ya el 85% de la potencia prevista como objetivo en el Real Decreto 661/2007, que es de 371 MW.

En algunas comunidades autónomas existen programas de financiación o subvención a pequeñas instalaciones de conexión a red (hasta 100 kW). No existen programas de subvención actualmente para grandes instalaciones (>100 kW).

#### Instalaciones aisladas

Las instalaciones fotovoltaicas para abastecimiento eléctrico tienen interés económico frente a otras alternativas de suministro eléctrico (grupo electrógeno o red eléctrica) cuando se demanda energía la mayoría de los días del año y la red eléctrica de distribución no está presente en el lugar (más de 500 m). En estas instalaciones es fundamental analizar previamente los consumos reales incorporando medidas de ahorro y eficiencia energética y no tras-

ladar los “abusos energéticos” que se cometen en una vivienda urbana. Una aplicación muy extendida en el sur de España son instalaciones fotovoltaicas para bombeo de agua.

Desde el punto de vista estrictamente económico, no tiene sentido realizar una instalación aislada para consumo de energía eléctrica en una vivienda donde exista la red eléctrica de distribución. En este caso, lo único que tiene sentido económico es realizar una instalación fotovoltaica conectada a la red.

El coste de este tipo de instalaciones (con todos los conceptos incluidos) varía entre 1.000 €/m<sup>2</sup> y 1.500 €/m<sup>2</sup> de superficie de módulo fotovoltaico instalado (8 €/Wp - 12 €/Wp).

En la mayoría de las comunidades autónomas existen programas de financiación o subvención para estas instalaciones.

#### 4.6. Normativa aplicable a las instalaciones fotovoltaicas

La normativa más relevante para este tipo de instalaciones es la siguiente:

- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Resolución de 31 de mayo de 2001 de la Dirección General de Política Energética y Minas por la que se establece el modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión (BOE 148/2001).
- Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Normas particulares de las compañías eléctricas.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas, como ayuntamientos, consejerías de Medio Ambiente, Obras Públicas, Industria, etc., de cada comunidad. En la mayoría de las comunidades autónomas existe normativa técnica y/o administrativa que complementa la normativa nacional general.
- Normas UNE de los componentes.

## 5. Centrales eléctricas termosolares

212

### 5.1. Aspectos básicos

Los Sistemas Termosolares de Concentración (STC) son sistemas de aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura mediante la concentración de la componente directa de la radiación solar.

La aplicación comercial más común hoy por hoy de los STC es la generación de electricidad en plantas de tamaño pequeño a mediano (entre 10 kW y 100 MW) a partir de la energía solar, aunque tiene también utilización en otras funciones, como la generación de energía térmica para procesos industriales o desalación, la producción de combustibles, etc. Los sistemas de generación de electricidad se denominan Centrales Eléctricas Termosolares (CET).

Una CET se compone de un sistema concentrador, un sistema receptor y un sistema de conversión de potencia, pudiendo además incluir un sistema de almacenamiento térmico y un sistema de energía auxiliar.

El sistema concentrador capta y concentra la radiación solar sobre el receptor, donde se convierte en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido de trabajo. La energía térmica se convierte en otra forma de energía apta para su utilización (por ejemplo, energía eléctrica) en el sistema de conversión de potencia. Los sistemas de almacenamiento térmico y de energía auxiliar permiten operar la CET en periodos de ausencia de radiación solar, facilitando su gestión.

La radiación solar en una CET puede complementarse con el aporte energético de un combustible fósil, dando lugar a las centrales conocidas como híbridas. El grado de hibridación puede ser muy variable: desde plantas que recurren al combustible fósil para eliminar o reducir al mínimo imprescindible el almacenamiento térmico y cuya función principal es absorber los transitorios producidos por variaciones más o menos bruscas de la radiación solar y garantizar la producción de acuerdo con la estrategia de operación establecida, hasta ciclos combinados convencionales apoyados por energía solar, en los que el aporte de esta última fuente energética está entre el 10% y el 20% de la producción.

Desde el punto de vista del sistema concentrador, los STC pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Sistemas de foco lineal:** la radiación solar se concentra sobre un tubo que recorre el foco del concentrador. A este grupo pertenecen los sistemas de colectores cilindro-parabólicos y los concentradores lineales de Fresnel.

- **Sistemas de foco puntual:** la radiación solar se concentra sobre una zona centrada en el foco del concentrador. Éstos pueden alcanzar mayores relaciones de concentración y operar a mayor temperatura. Los sistemas de torre o receptor central y los concentradores o discos parabólicos pertenecen a este grupo.

### 5.2. Concentradores cilindro-parabólicos

#### Aspectos tecnológicos

La tecnología de concentradores cilindro-parabólicos es actualmente la más madura entre las termosolares. Desde mediados de los años ochenta, en que se construyeron las primeras plantas SEGS (Solar Electric Generating Systems) en California, estas plantas han sido hasta fecha muy reciente las únicas centrales eléctricas termosolares operando en régimen comercial. La última planta se terminó de construir en 1991. Actualmente hay en funcionamiento nueve plantas SEGS en el desierto de Mojave (California), totalizando un total de 354 MW de potencia eléctrica instalada, a las que hay que añadir los 64 MW de la planta Nevada Solar One, próxima a Las Vegas (Nevada, Estados Unidos), que fue recientemente inaugurada.

**Tecnología.** En las plantas de concentradores cilindro-parabólicos actuales, la radiación solar se concentra por medio de espejos curvados, de sección parabólica, sobre un tubo, el receptor, situado sobre la línea focal del concentrador. La radiación solar concentrada se convierte aquí en energía térmica al producirse el calentamiento del fluido de trabajo (un aceite sintético en las plantas actuales) que circula por el interior del tubo receptor hasta temperaturas próximas a 400 °C. Finalmente, la energía térmica del fluido de trabajo se emplea para producir vapor de agua que, finalmente, se emplea para generar la electricidad en una turbina de vapor similar a las convencionales.

**Colector.** El elemento característico de una central de concentradores cilindro-parabólicos es conocido como colector, existiendo varios en el mercado, aunque todos los que se emplean en centrales eléctricas termosolares tienen similares características. Sus elementos principales son:

- La estructura soporte, que dota de rigidez al conjunto. Existen varios diseños, como el Eurotrough, desarrollado por un consorcio europeo, el LS3 de la empresa israelí Solel y el Senertrough, de la española SENER.
- El sistema de seguimiento, que permite la orientación del concentrador.
- El reflector, espejo que refleja y concentra la radiación solar. Actualmente existe un solo fabricante en el

mundo, la empresa alemana Flabeg, si bien la española Rioglass Solar ha anunciado la próxima apertura de una línea de fabricación en Asturias.

- El tubo absorbedor, compuesto por un tubo de acero con un recubrimiento selectivo y un tubo de vidrio envolvente, entre los cuales se realiza el vacío. Actualmente existe un solo fabricante de tubos receptores —Solel—, pero próximamente la alemana Schott pondrá en marcha una planta de producción en Aznalcóllar (Sevilla).

**Fluido de trabajo.** Casi todas las plantas en funcionamiento o en proyecto utilizan aceites térmicos sintéticos, con capacidad para operar hasta 400 °C, ya que más allá de esta temperatura el aceite se degrada. En la Plataforma Solar de Almería (PSA) se ha venido trabajando durante los últimos años en el desarrollo de la tecnología de generación directa de vapor (GDV) en los tubos, que permitirá operar a mayores temperaturas además de reducir el coste de las plantas. Existe un proyecto para la construcción de una planta GDV de 3 MW de potencia nominal en las inmediaciones de la PSA.

**Sistema de almacenamiento.** El sistema de almacenamiento térmico permite operar la planta en ausencia de sol brillante. La tecnología de almacenamiento térmico en dos tanques de sales fundidas a distintas temperaturas —tanques frío y caliente— es la opción mejor adaptada a las centrales de concentradores cilindro-parabólicos actuales. Se emplea una mezcla de nitritos y nitratos de sodio y potasio que en el proceso de carga se calientan con la energía que el aceite térmico procedente del campo les

cede en un intercambiador. En el proceso de descarga son las sales procedentes del tanque caliente las que ceden calor al aceite térmico.

Con vistas a las próximas generaciones de plantas, se está trabajando en el desarrollo de nuevos sistemas de almacenamiento térmico, como los basados en hormigón o en materiales con cambio de fase, que almacenan la energía en forma de calor latente.

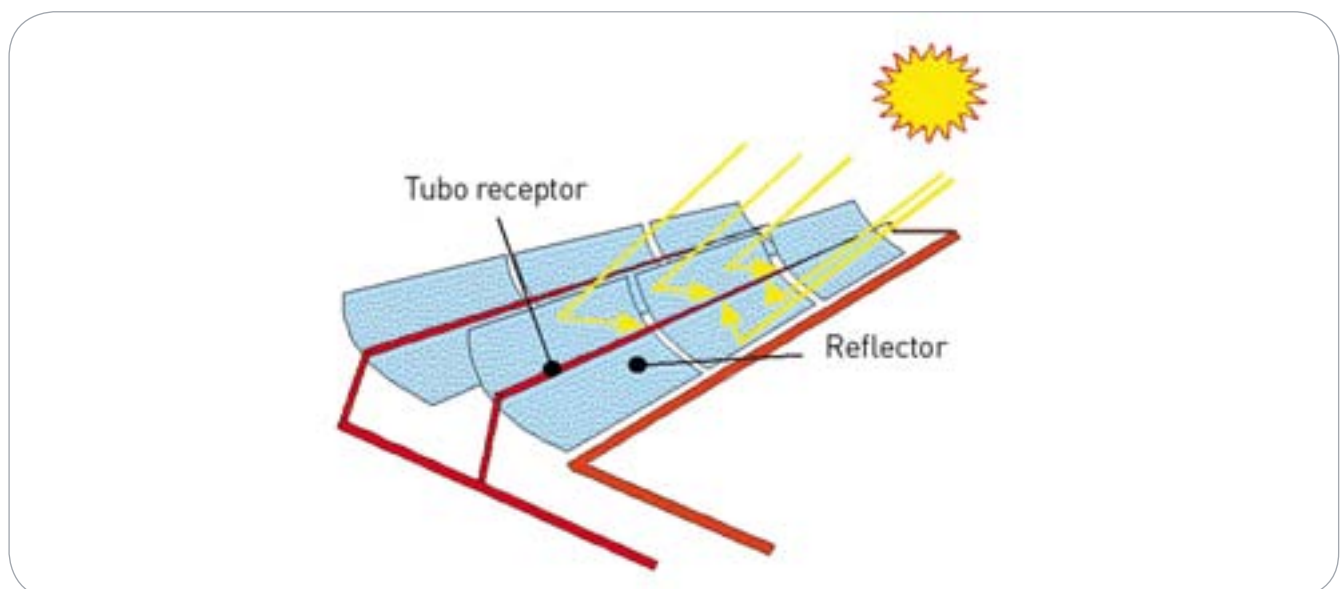
Tanto las plantas SEGS como Nevada Solar One carecen de sistema de almacenamiento térmico. En su lugar, las plantas SEGS emplean una caldera auxiliar de combustible fósil que se emplea en periodos nubosos. Nevada Solar One es una planta puramente solar, que sólo produce energía cuando brilla el Sol.

#### Situación actual

Además de las ya mencionadas plantas SEGS y de Nevada Solar One, ambas en Estados Unidos, hay actualmente en España tres centrales de concentradores cilindro-parabólicos en construcción —dos en la provincia de Granada, Andasol I y II, y una en la provincia de Badajoz, Extresol I— y están en distintas fases de desarrollo varios proyectos más. Las particularidades del Régimen Especial han propiciado el que casi todas estas plantas tengan una potencia nominal de 50 MW e incluyan un sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas de gran capacidad —hasta ocho horas equivalentes a potencia nominal— que permitirá la operación de la planta durante varias horas en ausencia de sol.

En el norte de África, región privilegiada desde el punto de vista de la radiación solar disponible, se están desarrollando

FIGURA 9  
Principio de funcionamiento del concentrador cilindro-parabólicos.



dos grandes proyectos —Argelia y Marruecos— de ciclos combinados de gas natural con aporte de la energía solar procedente de sendas plantas de concentradores cilindro-parabólicos, configuración propiciada por el Global Environmental Fund del Banco Mundial, que apoya financieramente estos proyectos.

#### Aspectos económicos

La rápida evolución del mercado en los últimos años hace difícil realizar una estimación precisa de los costes actuales de las plantas de concentradores cilindro-parabólicos; como cifras orientativas se manejan costes de 3.000 €/kW a 5.000 €/kW de potencia nominal instalado, dependiendo de la capacidad del sistema de almacenamiento de la planta. A modo de ejemplo, para una planta de 50 MW con seis horas de almacenamiento, la inversión estimada se sitúa en torno a los 200 millones de euros. De éstos, casi un 60% corresponden al campo solar (colectores), siguiendo en importancia el sistema de almacenamiento térmico y el ciclo de potencia —turbina, condensador, etc.—, ambos en torno al 15%.

La fuerte demanda que se está produciendo en los últimos dos o tres años, unida a la escasez de suministradores de los elementos principales —espejos, tubos receptores— puede producir un incremento de los precios a corto plazo, situación que es de esperar se corrija con la aparición en el mercado de nuevos suministradores y con el aumento de la capacidad de producción.

### 5.3. Concentradores lineales de Fresnel

#### Aspectos tecnológicos

El desarrollo de esta tecnología es muy reciente y apenas existen algunas plantas pilotos de demostración en Europa y Australia, si bien recientemente ha empezado a operar una planta de 1,2 MW térmicos integrada en una central de carbón en Australia. También muy recientemente se inauguró la mayor de estas plantas piloto en la Plataforma Solar de Almería, promovida por la empresa alemana MAN en colaboración con centros de I+D alemanes.

Este tipo de plantas se caracterizan porque el sistema concentrador está compuesto por un conjunto de tiras de espejos muy ligeramente curvados que se orientan coordinadamente, de forma que la radiación solar se concentra sobre un tubo receptor situado a una cierta altura sobre el conjunto de espejos. El fluido de trabajo es agua que se calienta y evapora a su paso por el tubo receptor, pudiendo luego emplearse para generar energía eléctrica en una turbina. Constituyen una alternativa de bajo coste a la tecnología de concentradores cilindro-parabólicos, pero la temperatura máxima de operación, y por tanto el rendimiento, están más limitados.

Actualmente hay un proyecto para construir una central de 6,5 MW eléctricos con esta tecnología en Tavira (Portugal) con tecnología de la empresa australiana SHP. El coste estimado por los promotores se sitúa en torno a 3.000 €/kW instalado.

### 5.4. Sistemas de receptor central

#### Aspectos tecnológicos

Los STCS de receptor central (SRC) se caracterizan porque el sistema concentrador está compuesto por un grupo, más o menos numeroso, de concentradores individuales llamados helióstatos, que dirigen la radiación solar concentrada hacia un receptor central, normalmente situado a una cierta altura sobre el suelo en una torre.

Son sistemas que pueden alcanzar un valor elevado de la razón de concentración y, por tanto, operar eficientemente hasta elevadas temperaturas (por encima de 1.000 °C).

La figura muestra un esquema de un SRC e ilustra su modo de funcionamiento.

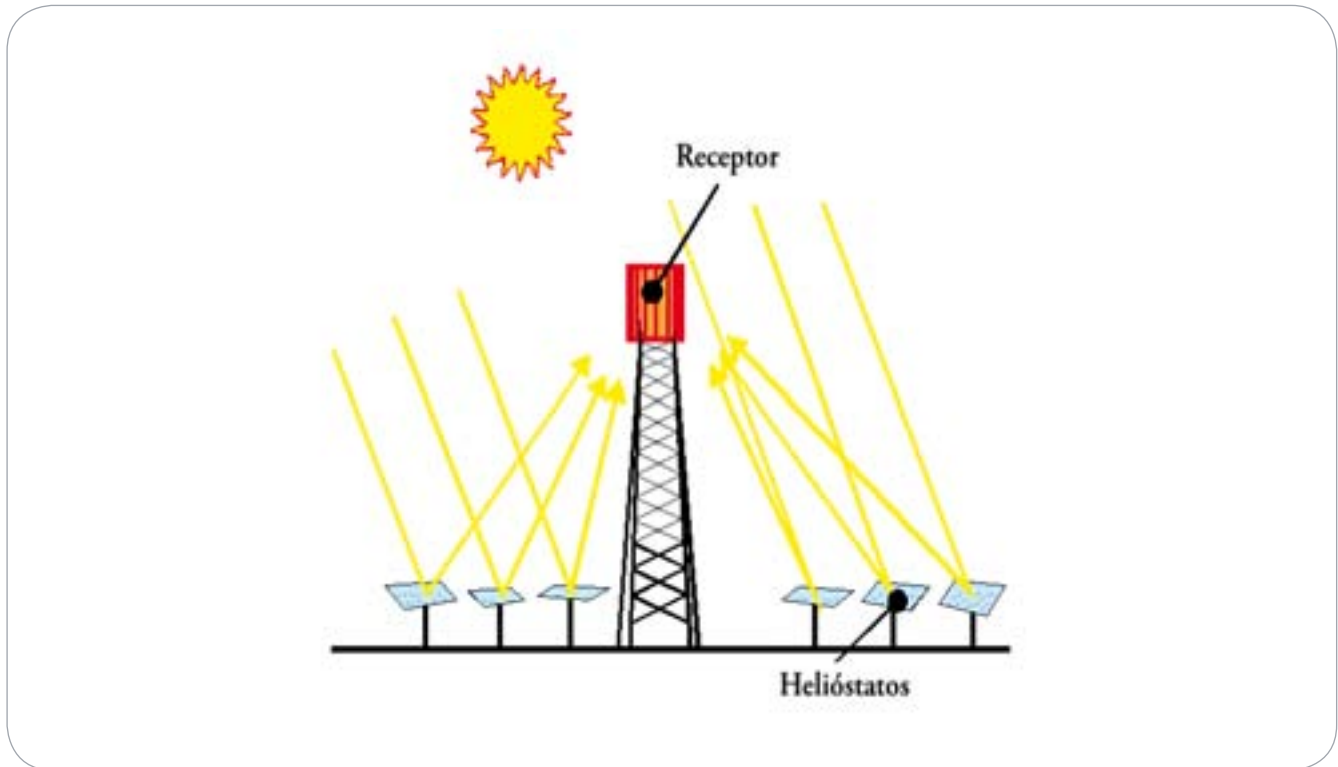
La mayor parte de los sistemas de receptor central construidos hasta ahora han sido plantas de demostración de entre 500 kW y 10 MW de potencia nominal, construidos a principios de los años ochenta en varios lugares del mundo. Entre éstas hay que mencionar la central Solar One en Barstow (California), la mayor construida hasta hace poco (10 MW) y ya desmantelada, y las dos existentes en la Plataforma Solar de Almería, construidas inicialmente como plantas de demostración y que desde hace años funcionan como instalaciones de ensayo, habiendo jugado un papel fundamental en el desarrollo de la tecnología.

Aunque existe una dilatada experiencia con este tipo de sistemas, el grado de madurez de la tecnología es aún inferior a los concentradores cilindro-parabólicos, ya que hasta hace muy poco tiempo no existía ninguna planta funcionando en régimen comercial. Desde principios de 2006, está en funcionamiento la planta PS10 de Abengoa Solar en Sanlúcar La Mayor (Sevilla), que es la primera CET que ha entrado en operación acogida al Régimen Especial.

**Tecnología.** Los componentes principales de un sistema de receptor central son los siguientes:

- Sistema colector o campo de helióstatos, formado por helióstatos.
- Receptor, situado sobre una torre.
- Sistema de control.
- Sistema de almacenamiento.

FIGURA 10  
Principio de funcionamiento de un sistema de receptor central.



**Helióstato.** El helióstato es, junto con el receptor, el componente más característico de un CET de receptor central.

Un helióstato está compuesto básicamente por una superficie reflectante, una estructura soporte, mecanismos de movimiento y un sistema de control.

Las superficies reflectantes más empleadas hasta hoy son a base de espejos de vidrio, de características similares a los empleados para los colectores cilindro-parabólicos.

El despliegue del campo de heliostatos en relación al receptor está condicionado en gran medida por las características del terreno disponible (forma de la parcela, orografía...), por el tamaño de la planta y por la posición del receptor. Las dos opciones clásicas contemplan el despliegue del campo de heliostatos alrededor (campo circundante) o a un lado (campo Norte o Sur, según la latitud del emplazamiento) de una torre, sobre la cual se sitúa el receptor.

**El receptor.** El receptor de una CET de receptor central suele situarse, por cuestiones ópticas, sobre una torre. Es el dispositivo donde la radiación solar concentrada se transforma en energía térmica, produciéndose el calentamiento o la evaporación del fluido de trabajo. A lo largo de la historia de esta tecnología se han propuesto y ensayado un gran número de receptores de diversas características geométricas y operativas con distintos fluidos de trabajo.



Helióstato de vidrio-metal de 90 m<sup>2</sup> de superficie reflexiva.

Los estudios y experimentos realizados hasta la fecha no han conseguido demostrar la superioridad de una tecnología sobre las demás, entre otras causas porque la elección de una u otra está condicionada no sólo por factores técnicos, sino también de política industrial. Así, mientras la industria estadounidense apuesta por la tecnología de sales fundidas, la europea aparece más inclinada hacia los receptores volumétricos de aire, ya sean atmosféricos o presurizados, o los receptores de vapor de agua, como el de PS10.

**Sistema de control.** El sistema de control de una CET de receptor central presenta unas características singulares, ya que debe conseguir que todos y cada uno de los heliostatos —centenares en una planta comercial— estén correctamente orientados en todo momento, de forma que se garantice el funcionamiento correcto y seguro de la planta. Hasta la fecha se emplean sistemas de control en bucle abierto, determinándose en cada instante la posición de cada uno de los heliostatos mediante cálculos geométricos que tienen en cuenta las ecuaciones de movimiento del Sol y la posición relativa de cada heliostato respecto al receptor.

**Sistema de almacenamiento.** La función y las características del sistema de almacenamiento de una CET de receptor central son similares a las de las plantas de concentradores cilindro-parabólicos, si bien los distintos niveles de temperaturas permiten disponer de una gama más amplia de materiales y configuraciones. Hasta ahora, los medios de almacenamiento térmico empleados han sido sales fundidas, agua a presión, etc.

#### Situación actual

La planta PS10 de 11 MW de Abengoa Solar en Sanlúcar La Mayor (Sevilla), ya en funcionamiento, es la primera planta de las varias que se construirán en el mismo entorno constituyendo la Plataforma Solar de Sanlúcar La Mayor, con una potencia prevista de 300 MW. Abengoa Solar ha iniciado ya la construcción de una segunda planta de receptor central, llamada PS20. Ambas emplearán la misma tecnología, con heliostatos de 120 m<sup>2</sup> diseñados y fabricados por Abengoa y receptor de vapor saturado, con un pequeño sistema de almacenamiento en agua a presión con capacidad para operar 50 minutos a potencia nominal en ausencia de sol.

Otro proyecto de CET de receptor central es la planta Solar Tres de Sener. Esta planta, todavía en fase de proyecto, empleará tecnología de sales fundidas tanto en el receptor como en el sistema de almacenamiento.

#### Costes

Aunque también en este caso es difícil dar cifras precisas sobre costes, las cifras orientativas que se manejan están en torno a 3.000 €/kW – 3.500 €/kW de potencia nominal instalado, para plantas sin sistema de almacenamiento térmico. Como en el caso de la tecnología de concentradores cilindro-

parabólicos, el capítulo fundamental es el campo de heliostatos (sistema concentrador), siguiéndole en importancia el ciclo de potencia, el sistema de almacenamiento —si lo hubiera—, el receptor y la torre.

Las características de esta tecnología hacen que se hayan presentado hasta ahora los problemas de escasez de suministradores, si bien tanto la torre como el receptor son elementos “únicos”, que deben ser objeto de un proyecto específico.

## 5.5. Discos parabólicos

### Aspectos tecnológicos

Los sistemas de discos parabólicos se componen básicamente de un concentrador con forma de paraboloide de revolución, un receptor situado en el foco de dicho paraboloide y un sistema de generación eléctrica compacto (motor o turbina más alternador), que suele formar un solo bloque con el receptor. La radiación solar concentrada por el paraboloide incide sobre el receptor, donde se convierte en energía térmica calentando un gas que permite generar electricidad —trabajo mecánico— en el sistema generador.

Los discos parabólicos se caracterizan por un alto rendimiento, modularidad y autonomía.

**Tecnología.** Los componentes de un sistema de discos parabólicos son:

- Concentrador.
- Receptor y sistema de generación.
- Estructura soporte y mecanismos.

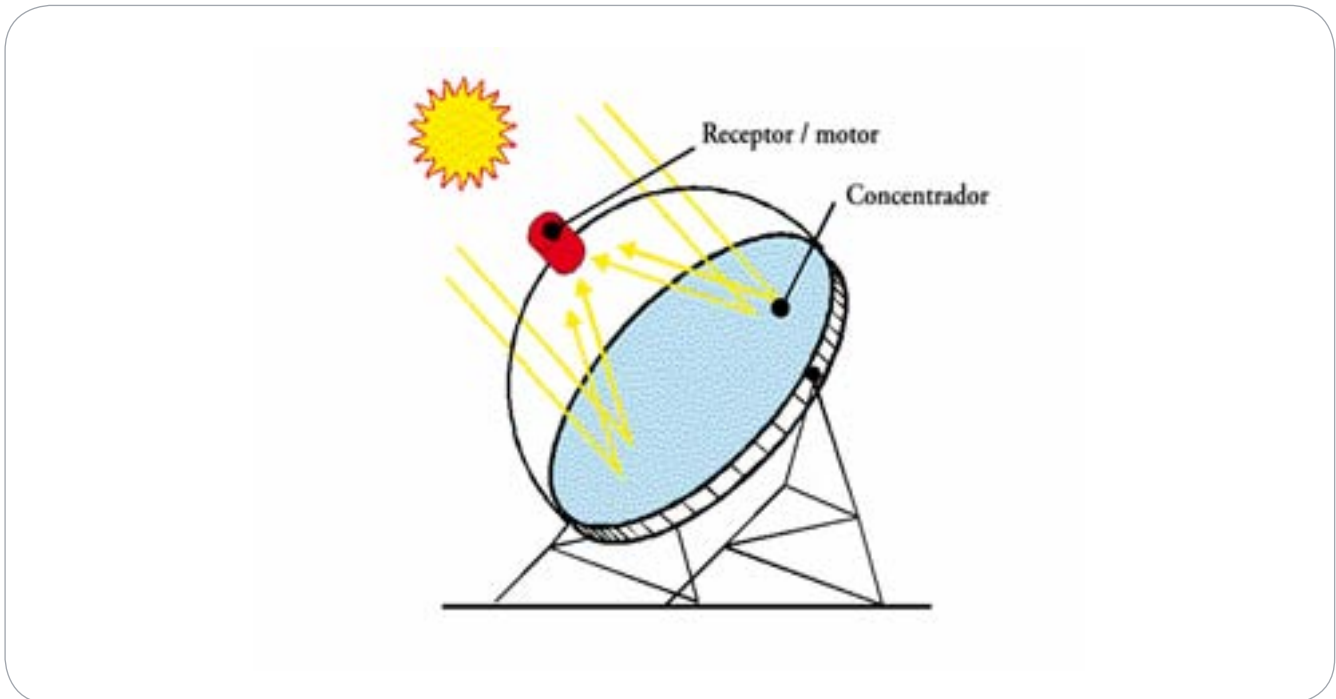
**Concentrador.** La forma de la superficie reflexiva en un sistema de este tipo es la de un paraboloide de revolución. El tamaño del concentrador dependerá tanto de la potencia nominal como de la energía a generar en un periodo de tiempo para unas determinadas condiciones de radiación solar y rendimientos asociados de los elementos que constituyen el sistema.

Los discos parabólicos pueden construirse tanto con facetas que aproximan de forma discreta a la geometría del paraboloide o con membrana de metal tensada, aproximando así de manera continua a la geometría buscada.

**Estructura y sistema de seguimiento.** Un sistema de disco parabólico debe disponer también de una estructura soporte y un mecanismo de seguimiento del Sol en dos ejes, con objeto de seguir la posición del Sol en todo momento.



FIGURA 11  
Esquema de un sistema de disco parabólico.



Los dos tipos de montaje empleados son:

- Seguimiento en acimut-elevación, en el que el movimiento se realiza según dos ejes, vertical y horizontal.
- Seguimiento polar, en el que el movimiento en un eje es muy lento, pues sólo debe seguir las variaciones estacionales del Sol, y el movimiento en el otro eje es a velocidad constante.

**Receptor y sistema de generación.** El receptor de un sistema de discos parabólicos tiene dos funciones fundamentales:

- Absorber la radiación solar reflejada por el concentrador.
- Transferir la energía absorbida al fluido de trabajo de la máquina térmica asociada.

Por tanto, constituyen la interfaz entre el concentrador y la máquina térmica. Los receptores empleados en los discos parabólicos son receptores de cavidad en los que la radiación se concentra sobre una apertura (situada próxima al foco del paraboloide) incidiendo posteriormente sobre el absorbedor. De esta forma se consigue disminuir las pérdidas térmicas, así como homogeneizar el flujo radiante incidente sobre el absorbedor y reducir su valor máximo.

El sistema generador está constituido por una máquina térmica y el generador propiamente dicho, que transforma la energía mecánica en electricidad. El desarrollo de los sistemas de discos parabólicos ha estado muy ligado a los motores Stirling. En 1984, con un sistema de disco parabólico y un motor Stirling se consiguió el que sigue siendo el mayor rendimiento de conversión solar-eléctrico (29,4%), con un sistema de 25 kW eléctricos con hidrógeno como fluido de trabajo a 200 bar y una temperatura máxima del ciclo de 720 °C. El rendimiento térmico del motor Stirling fue del 41%.

En la actualidad se considera también el empleo de ciclos de turbinas de gas, gracias al desarrollo de turbinas de gas de tamaño reducido y alto rendimiento.

Las potencias de estos motores o turbinas suelen oscilar entre los 5 kW y los 25 kW, con rendimientos entre el 30% y el 40%.

#### Situación actual

Los sistemas de disco parabólico con motor Stirling son muy adecuados para generación distribuida. Sin embargo, a pesar de presentar costes comparables a los de la tecnología fotovoltaica, apenas han tenido desarrollo comercial hasta ahora.

En Europa, la empresa alemana SBP ha desarrollado y comercializa el sistema Eurodish de 10 kW de potencia, con un motor Stirling fabricado por la también alemana Solo GMBH. En Estados Unidos, SES ha firmado un contrato para el sumi-



**Sistema Eurodish en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla.**

nistro de 20.000 unidades de sus sistemas de 25 kW, resultando una potencia de 500 MW ampliable a 850 MW.

Estos sistemas presentan un gran potencial de reducción de costes dadas sus características, que permiten la fabricación en serie de todos sus componentes.

#### Costes

Los costes de los sistemas de disco parabólico con motor Stirling son aún muy altos, estimándose en torno a 5.000 €/kW para producciones de 100 a 500 unidades. Es de esperar que estos costes se reduzcan sensiblemente para series de producción más largas.

### 5.6. Normativa

Todos los sistemas eléctricos termosolares, independientemente de su tamaño, se engloban en el apartado b.1.2 del Real Decreto de Régimen Especial 661/2007, recibiendo una tarifa de 26,9375 c€/kWh o una prima de referencia de 0,254 €/kWh producido durante los primeros 25 años, con unos límites superior e inferior a la retribución total de 34,3976 c€ y 25,4038 c€, respectivamente, para el régimen de mercado.

El objetivo de potencia para estas instalaciones se establece en 500 MW en el mismo Real Decreto.

## 6. Enlaces de interés

Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT)  
[www.asit-solar.com](http://www.asit-solar.com)  
[admin@asit-solar.com](mailto:admin@asit-solar.com)

Asociación Solar de la Industria Fotovoltaica (ASIF)  
[www.asif.org](http://www.asif.org)  
[info@asif.org](mailto:info@asif.org)

Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA)  
[www.epia.org](http://www.epia.org)  
[com@epia.org](mailto:com@epia.org)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)  
 Ministerio de Industria, Turismo y Comercio  
[www.idae.es](http://www.idae.es)

Federación de la Industria Solar Térmica Europea (ESTIF)  
[www.estif.org](http://www.estif.org)  
[info@estif.org](mailto:info@estif.org)

Solar Heating and Cooling Programme  
 Agencia Internacional de la Energía  
[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)  
[pmurphy@MorseAssociatesInc.com](mailto:pmurphy@MorseAssociatesInc.com)







10 | Energías Renovables:  
Cogeneración, Biomasa

## 1. Conceptos básicos

### 1.1. Qué es la biomasa

La biomasa es un conjunto heterogéneo de materias, tanto por su origen como por su naturaleza, lo que condiciona su utilización. De forma más amplia se puede definir la biomasa como toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo también los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Desde el punto de vista energético y de sostenibilidad, la biomasa es una fuente de energía renovable, que no destruye el medio ambiente.

La biomasa tiene carácter renovable ya que su contenido energético procede de la energía solar fijada por los vegetales durante la fotosíntesis. Esta energía se obtiene al degradar los compuestos orgánicos.

### 1.2. Tipos de biomasa según su origen y características del residuo

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizadas para suministrar la demanda energética de una instalación. Una clasificación que podemos hacer según el origen y las características del recurso es:

- **Biomasa natural:** es aquella que se genera de forma espontánea en la naturaleza sin la intervención del ser humano. Un ejemplo claro son las ramas de árboles de los bosques caídas por acción del clima, de su proceso biológico, hojas del suelo, etc. Este tipo de biomasa necesita un sistema de gestión para su recogida y transporte a la planta. Junto con la baja producción hace que no sea rentable económicamente.
- **Biomasa residual seca:** aquí se incluyen todos subproductos de las actividades agrarias (podas de olivo, vid y frutales en general), forestales (restos de limpieza de bosques) y de las industrias agroalimentarias (cáscara de almendra, orujillo de la extracción del aceite de oliva) y de transformación de la madera (residuos de aserraderos como el serrín y las virutas de madera, residuos de fábricas de muebles, etc.).
- **Biomasa residual húmeda:** son residuos con un alto contenido en humedad entre los que se encuentran las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (purines o deyecciones de los animales).
- **Cultivos energéticos:** son aquellas especies que son cultivadas con el único fin de producir biomasa para

su uso como combustible tanto sólido como para biocarburantes. El objetivo es conseguir la máxima cantidad de energía en la cosecha. Podemos destacar algunas especies: el cardo (*Cynara cardunculus*), sorgo (*Sorghum bicolor*), el chopo, eucalipto, etc. Dentro de los cultivos energéticos encontramos especies herbáceas o especies leñosas (árboles).

- **Residuos sólidos urbanos (RSU):** dentro de este grupo solo podemos tener en cuenta los residuos orgánicos, previamente separados en una planta de gestión de residuos, para evitar así la inclusión de plásticos, metales, vidrio, etc., no aprovechables dentro de este ámbito.



De arriba a abajo, cultivo de cardo y cultivo de sorgo.

Fuente: IDAE.

Generalmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico de cada uno de los materiales, aunque en algunos casos como el de la biomasa húmeda o los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento.

En la siguiente tabla se muestra el Poder Calorífico Inferior (PCI) a distintos contenidos de humedad de la biomasa residual seca más utilizados.

TABLA 1  
PCI y usos de distintos tipos de Biomasa.

Productos	PCI a humedad X (kJ/kg)					
	H (%)*	PCI	H (%)*	PCI	H (%)*	PCI
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
<b>Cortezas</b>						
Coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Fronosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
<b>Vid</b>						
Sarmientos	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Ramilla de uva	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Orujo de uva	0	18.894	25	13.543	50	8.193

\* H (%) = tanto por ciento de humedad.

Fuente: CIRCE.

Podemos observar en la tabla, como es lógico, que cuanto menor es el contenido en humedad mayor es el PCI de la biomasa.

En el caso de la biomasa residual húmeda, como podemos observar en la siguiente tabla, produce biogás y su contenido energético es:

TABLA 2  
PCI y usos de distintos tipos de Biomasa.

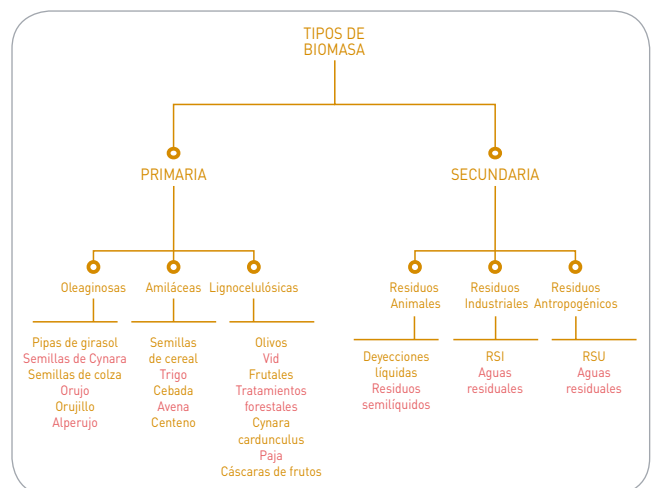
Sustrato	Cantidad de biogás a 30 °C en l/kg de residuo seco	Contenido en metano (%)	PCI (kcal/m³N de biogás)
Estiércol con paja	286	75	6.100
Excrementos de paja	237	80	6.500
Purines de cerdo	257	81	6.600
Agua residual urbana	100 (por m³ de agua tratado)	65	5.300

Fuente: CIRCE.

### 1.3. Tipos de biomasa según su composición química

Otra clasificación de la biomasa se puede hacer en función de su composición química; ésta queda reflejada en el gráfico siguiente:

FIGURA 1  
Clasificación de la biomasa según su composición química.



Fuente: AEDIE.

## 1.4. La biomasa en el PER

El Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010 constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010. Con esta revisión, se trata de mantener el compromiso de cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía en 2010, así como incorporar los otros dos objetivos indicativos (29,4% de generación eléctrica con renovables y 5,75% de biocombustibles en transporte para ese año) adoptados con posterioridad al anterior plan.

Durante los últimos años la biomasa ha experimentado en España unos desarrollos sensiblemente inferiores a los fijados en su día como objetivos del Plan de Fomento, y persisten en ella importantes barreras a las que este Plan pretende dar respuesta.

Por lo que se refiere a las aplicaciones eléctricas de la biomasa, el objetivo de crecimiento en el periodo 2005-2010 se sitúa en 1.695 MW, para cuyo desarrollo cuenta, entre otros, con tres elementos:

- La puesta en marcha de un programa de co-combustión, para la combustión conjunta de biomasa y carbón en las 19 centrales que existen de este combustible fósil.
- Un sensible incremento de la retribución a la electricidad generada en instalaciones de biomasa eléctrica.
- La ya existente Comisión Interministerial de la Biomasa, cuyo funcionamiento se espera dinamice el mercado potencial.

A continuación se recogen los objetivos energéticos propuestos para cada tipo de recurso y aplicación. Corresponden a incremento de energía primaria durante el periodo 2005-2010:

**TABLA 3**  
Objetivos energéticos propuestos para cada tipo de recurso y aplicación.

Recursos	Objetivos (tep)
Residuos forestales	462.000
Residuos agrícolas leñosos	670.000
Residuos agrícolas herbáceos	660.000
Residuos de industrias forestales	670.000
Residuos de industrias agrícolas	670.000
Cultivos energéticos	1.908.300
<b>Aplicaciones</b>	
Aplicaciones térmicas	582.514
Aplicaciones eléctricas	4.457.786
<b>Totales</b>	
<b>Energía primaria</b>	<b>5.040.300</b>

Fuente: IDAE.

La evolución anual prevista de la nueva potencia que se va a instalar para generación eléctrica con biomasa, dentro del periodo 2005-2010, es la siguiente:

**TABLA 4**  
Evolución de la potencia que se va a instalar para generación eléctrica con biomasa en el periodo 2005-2010

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total 2005-2010
Potencia biomasa eléctrica anual (MW)	10	40	95	210	285	333	973
Potencia co-combustión anual (MW)	0	50	125	125	200	222	722

Fuente: IDAE.

La siguiente tabla refleja los resultados previstos en lo relativo a la generación eléctrica con biomasa, que se corresponden con las instalaciones puestas en marcha durante el periodo 2005-2010:

**TABLA 5**  
Resultados previstos de generación eléctrica.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total 2005-2010
Producción biomasa eléctrica anual (GWh)	69,8	348,8	1.011,4	2.476,1	4.464,0	6.786,7	15.156,7
Producción co-combustión anual (GWh)	0	348,8	1.220,6	2.095,5	3.487,5	5.036,0	12.185,3

Fuente: IDAE.



Finalmente, por lo que se refiere a los usos térmicos de la biomasa, el incremento anual dentro del periodo 2005-2010 es el siguiente:

**TABLA 6**  
**Usos térmicos de la biomasa e incremento en el periodo 2005-2010**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total 2005-2010
<b>Biomasa térmica doméstica: capacidad térmica (tep/año)</b>	20.000	30.000	35.000	35.000	40.000	44.722	204.722
<b>Biomasa térmica industrial: capacidad térmica (tep/año)</b>	30.000	50.000	50.000	60.000	80.000	107.792	377.792

Fuente: IDAE.

Este crecimiento en el área de biomasa está condicionado al desarrollo de un mercado maduro de su suministro, así como al desarrollo normativo que regule la introducción de las instalaciones de biomasa en el sector doméstico, a través de su inclusión en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), así como a través de un mayor desarrollo de la normativa de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) referida a combustibles, instalaciones, etc.

## 1.5. Principales fuentes de biomasa

### 1.5.1. Biomasa forestal

La biomasa forestal que como se sabe tiene un aprovechamiento tradicional en la producción de leñas y una gran explotación en la industria de la madera, papel, tablero, mueble... a día de hoy tiene otro camino, la producción de biocombustibles sólidos.

El origen de este tipo de biomasa puede ser:

- **Tratamientos selvícolas**

Las masas forestales necesitan una serie de tratamientos en el tiempo, que mejoran su crecimiento, y además evitan la propagación de incendios, enfermedades y plagas.

De estos tratamientos se pueden obtener grandes volúmenes de biomasa que es susceptible de ser aprovechada con fines energéticos (ramas, ramones, arbustos), y, de forma general, todos aquellos residuos que no presenten un valor añadido en las industrias de transformación maderera.

- **Residuos de cortas**

Cuando se realizan cortas en zonas boscosas, se generan residuos, como corteza de árbol, pequeñas ramas tocones, en incluso frutos.

- **Cultivos energéticos**

Como el propio nombre indica, son cultivos o plantaciones en los que la única finalidad es la de utilizar el producto que con el tiempo se obtendrá como combustible para la producción de energía. Hoy por hoy, este tipo de cultivos, tienen poca presencia en nuestro país, pero no hay que dejarlos de lado porque pueden ser una práctica más usual en un futuro.



**Leñas para el aprovechamiento energético.**

Fuente: IDAE.

En nuestro país las especies más productivas dentro de este ámbito son el chopo, los eucaliptos, monte bajo (*Quercus*), etc. Además se están empezando a realizar experiencias con sauces y algunas especies exóticas como la *paulownia*, que da resultados muy prometedores.

Como se verá más adelante en detalle, la biomasa forestal pasa por una serie de etapas antes de su aprovechamiento final.

#### Tratamiento/acondicionamiento

Cuando se extrae la biomasa forestal del monte, es necesario hacer un primer tratamiento o acondicionado ya que el coste de transporte desde el punto de recogida a la zona de almacenamiento se verá reducido en la medida en la que la materia que se va a transportar sea más homogénea y de menor tamaño. Esta tarea es de gran importancia ya que pequeñas cantidades en peso pueden ocupar grandes superficies.

#### Transporte de la biomasa de origen forestal

Normalmente éste se hace por carretera y en camiones, ya que el punto de destino no debe tener una distancia mayor a 50 km del punto de procedencia, ya que esto nos haría inviable económicamente la planta de generación de energía.

#### Almacenamiento y tratamiento secundario de la biomasa de origen forestal

Cuando se toman medidas a una planta de biomasa forestal, se deben tener en cuenta la ubicación de los puntos de almacenamiento intermedio y final, ya que si sólo se midiera un parque de apilado, este debería ser muy amplio y costoso.

Una vez en la planta y antes de alimentar la caldera con la biomasa, se debe hacer un segundo tratamiento en el cual se dé la granulometría apropiada a la tecnología a utilizar, y de esta forma se homogenice el combustible.

La biomasa agrícola puede proceder de las siguientes fuentes:

### 1.5.2. Biomasa agrícola

- **Residuos de cultivos alimentarios**

La producción de alimentos, tanto para los hombres como para los animales, genera una serie de residuos susceptibles de ser revalorizados energéticamente. Anualmente esta cantidad de residuos es muy grande y va creciendo, con lo que presentan un alto potencial para ser usados en plantas de biomasa.

- **Residuos de cultivos no alimentarios**

Otro tipo de cultivos que generan muchos residuos son aquellos cuya finalidad es la de producir materias primas para procesos industriales (textil, cosmética, perfumería, farmacia, química básica, etc.).

- **Cultivos energéticos**

Al igual que en el caso de la biomasa forestal, este tipo de cultivos tienen como única finalidad la producción de combustible para plantas de biomasa. Cabe destacar en este tipo de cultivos los de plantas oleaginosas, (por ejemplo, girasol) para la producción de biocombustibles, amiláceas para la producción de bioetanol y lignocelulósicas para combustión directa, gasificación o pirólisis.

Dentro de los cultivos energéticos para la producción de biocombustibles aparecen especies tradicionales, conocidas de sobra por los agricultores como son los cereales (trigo, avena...), la colza, el girasol... Y entre las nuevas especies destacamos algunas como la brassica carinata, el cynara cardunculus (cardo borriquero) y el sorghum bicolor (sorgo), etc.

Al igual que con la biomasa forestal, la biomasa agrícola pasa por unas etapas antes de su utilización como fuente de energía.

#### Tratamiento/acondicionamiento

Para reducir costes de transporte, la biomasa agrícola, al igual que la forestal, deben tener un primer tratamiento de triturado y homogeneizado.

Por otro lado, este tratamiento y acondicionado pretenden que la biomasa pase por una primera etapa de secado en la que se elimine la humedad sobrante.

#### Transporte

Este transporte se realiza por carretera, y no debe ser superior a 50 km, ya que distancias superiores hacen peligrar la viabilidad económica de la planta de biomasa.

#### Almacenamiento y tratamiento secundario

Este tipo de biomasa, puede estar disponible a lo largo de todo el año (cuando la planta de aprovechamiento es apta para biomasa diferentes, pues ciertos frutos o subproductos se pueden almacenar para su proceso industrial a lo largo del año) y la planta puede tener un abastecimiento continuo, por lo que las dimensiones del parque o playa de almacenamiento o apilado no debe presentar unas dimensiones exageradas.

En cuanto al tratamiento secundario que se le da a este tipo de biomasa, es muy parecido al descrito para la forestal, ya que se trata de dar un homogeneizado en su granulometría, de forma que pueda ser introducido en la caldera.

En el caso de biomasa agrícola para la producción de biodiésel y bioetanol, este tratamiento será específico para este tipo de plantas.

### 1.5.3. Biomasa de origen animal

En los últimos años se han ido desarrollando diferentes sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa de origen animal, que van destinados, por un lado, a obtener energía de unos residuos y, por otro, a minimizar los vertidos de éstos al medio ambiente (son muy contaminantes).

Cada vez es mayor la presión a la que se está sometiendo a los productores de residuos, para que ellos mismos los autogestionen y no sean vertidos, lo que crea un impacto ambiental nefasto en los suelos y aguas superficiales y subterráneas.

Dentro de este tipo de residuos, se debe hacer una diferenciación, entre los que generan las explotaciones ganaderas, y los que se producen en los mataderos y otras industrias afines (cárnicas, conserveras).

#### Deyecciones o purines

Las explotaciones ganaderas son grandes productoras de residuos por las deyecciones de los animales que las conforman.

Estas deyecciones pueden ser líquidas o semisólidas. Tradicionalmente este residuo ha sido válido y utilizado como abono para el campo pero, debido a la gran cantidad, grado de dilución en materia útil y concentración con que se producen estos residuos en las explotaciones intensivas, se hace antieconómico su transporte a larga distancia. Otro inconveniente es el desequilibrio en su composición química que obliga a utilizar fertilizantes adicionales. Por tanto, sólo son aplicables en la cantidad que es capaz de soportar el suelo agrícola circundante a la explotación.

Por otro lado la aparición en el mercado de abonos sintéticos de alta concentración de fertilizantes NPK, hacen que la práctica del abonado con estiércol empiece a ser muy reducida, y tiende actualmente al desuso.

La tendencia es pues a:

- La reducción de su volumen mediante secado forzado con gas natural, para su posterior vertido o transporte, que es ya más económico por la disminución de masa y volumen.
- La digestión anaerobia, para reducir la DBO<sup>1</sup> (Demanda Biológica de Oxígeno) y la DQO<sup>2</sup> (Demanda Química de Oxígeno), con o sin utilización energética del biogás generado, usando el digestato como fertilizante (tras un proceso de compostaje) o vertiéndolo. Como se verá más adelante, la digestión anaerobia es una tecnología genérica que hay que adaptar a cada tipo de residuo pues, al intervenir organismos vivos muy estrictos en cuanto a sus condiciones de vida, no se pueden estandarizar los procesos excesivamente. Además, los procesos que se diseñen son muy sensibles a los cambios en la composición del sustrato.

#### Residuos de la industria

En este campo existen dos focos productores principalmente que son los siguientes:

- **Mataderos:** en los que se generan residuos, que son las partes no comercializables del animal (vísceras, etc.). El proceso que se debe aplicar a estos residuos es el de digestión anaerobia.
- **Residuos de lonja e industrias de primera transformación de pescado,** pues debido a la cantidad de grasas que presentan estos residuos pueden ser susceptibles de utilización para producción de biodiésel.

### 1.5.4. Biomasa antropogénica

La evolución y el desarrollo de los países originan la generación de residuos por parte del hombre, ya sean de carácter sólido o líquido. A mayor nivel de desarrollo, mayor cantidad de residuos per capita.

Actualmente la recogida y gestión de estos residuos generados en los hogares y comercios está muy desarrollada, por lo que es más fácil sacar un beneficio energético de estos residuos.

<sup>1</sup> DBO es la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el medio.

<sup>2</sup> DQO es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica presente en el medio mediante compuestos químicos.



Planta de Tratamiento Integral de Residuos Sólidos Urbanos Tirmadrid.

Fuente: EUFER.

Los residuos generados en los centros urbanos los podemos catalogar como:

### Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Estos están compuestos por una parte reciclable y otra que no lo es. A su vez, la no reciclable se subdivide en aquellas materias susceptibles de recuperación energética (RDF), la putrescible, que puede ser metanizada o usada como sustrato para compostaje y la que tiene que ser vertida por no ser apta para las tecnologías en uso, normalmente debido a su composición. Dependiendo del tipo, los RDF son procesados de diversas formas.

Estos residuos pueden ser secados y posteriormente incinerados, o pueden usarse para producir biogás mediante una digestión anaerobia.

Otra forma de aprovechamiento de estos residuos es el vertido ordenado y la posterior extracción de gas de vertedero generado en los vertederos sellados, con posterior uso energético.

### Aguas Residuales Urbanas

Las grandes urbes y en menor medida las de tamaño más reducido, actualmente presentan Estaciones Depuradoras

de Aguas Residuales (EDAR) (figura 2), que son las encargadas de depurar todas las aguas residuales de procedencia antropogénica. En estas estaciones cada vez es más frecuente que se lleve a cabo una digestión anaerobia de los fangos producidos en la fase primaria (aerobia), con la finalidad de producir biogás para usarlo como combustible.

FIGURA 2  
Esquema de una EDAR.



Fuente: [www.consorticioaa.com](http://www.consorticioaa.com).

### 1.5.5. Biomasa industrial

Dentro de este tipo de biomasa procedente del sector industrial, podemos distinguir los siguientes productos:

#### Residuos sólidos

- **Procedentes de las industrias de primera transformación de la madera**, como son los residuos de serrería (serrín, virutas, cortezas, costeros, recortes).
- **Procedentes de la industria de segunda transformación de la madera**, donde nos encontramos con residuos que pueden contener productos químicos que impiden la recuperación energética, y que deben tener un tratamiento específico a la hora de ser usados como combustible.
- **Residuos procedentes de la industria agroalimentaria**, que pueden ser desde cáscaras de frutos comercializables hasta restos del propio fruto una vez procesados (orujo, alperujo, orujillo, pulpa de remolacha, etc.).
- **Residuos procedentes de la industria no agroalimentaria**, que son los que se generan en plantas como las textiles, fabricación de productos químicos, colonias, etc.



Viruta y serrín procedente de aserradero.

Fuente: IDAE.

#### Residuos líquidos

- **Aguas residuales de proceso**: suelen ser usados en etapas de lavado y concentración en los procesos industriales, y no pueden ser vertidas a los ríos sin un tratamiento previo en Estaciones Depuradoras de Aguas Industriales (EDAR).
- **Lejías negras**: son las aguas residuales procedentes del proceso de elaboración de pasta de papel.
- **Alpechines, melazas y vinazas**.

## 2. Tecnologías de preparación

### 2.1. Recolección

#### 2.1.1. Forestal

El monte alto que tradicionalmente se ha utilizado para la extracción de la madera para pasta o tablero, hoy tiene otra salida, que es su explotación como fuente bioenergética, y dentro de este ámbito, se aplican diferentes sistemas de trabajo.



Orujillo de uva.

Fuente: IDAE.

### Saca de pies completos y astillado/triturado fijo

Consiste en el apeo con un cabezal multifunción de árboles de pequeño porte, su recogida en un autocargador y su posterior apilado en cargadero. Lo ideal tras su apilado y, por tanto, un breve periodo de presecado, es realizar el astillado de la madera sobre un contenedor o con una astilladora/trituradora incorporada a un camión.

Este sistema puede tener una buena aplicación para resalveos de querúceas, clareos de especies comerciales (pinos, hayas...), y clareos de especies comerciales en competencia con usos ya consolidados (industrias transformadoras, de trituración).

Los costes aproximados de este sistema de trabajo son:

- **Extracción:** 8,25 €/t
- **Astillado:** 11,55 €/t
- **Apeo, apilado y transporte a propiedad:** 13,20 €/t

No es el sistema más barato de extracción de la biomasa dado el tamaño del material que se maneja.

### Saca de restos y astillado o triturado fijo

Fundamentalmente consiste en la separación de los restos durante el aprovechamiento, dejando los residuos concentrados, con posterior desembosque en el cargadero o el borde de la pista para su presecado y astillado fijo en cargadero sobre camión o con una astilladora incorporada a éste.

La aplicación de este sistema es muy eficiente para cortas a hecho de pinares (Galicia, País Vasco, Burgos...), de eucaliptos (Cornisa Cantábrica y oeste de Andalucía) y de chopos (Granada, Ribera del Duero...)

Este sistema es el más económico en montes grandes y el que mejor adapta a las condiciones invernales, ya que se pueden sacar los residuos y el material astillado a borde de pista. El coste aproximado en 2005 es:

- **Extracción:** 6,55 €/t
- **Astillado:** 13,55 €/t
- **Apilado del residuo y retribución de madera en pie:** 13,10 €/t

### Astillado móvil en el monte

Se apila el material residual del aprovechamiento lo más concentrado posible en el monte, este residuo se astilla con una trituradora remolcada bien por un tractor o bien por una trituradora integrada en un autocargador, y su posterior desembosque.



Recolección de sorgo.

Fuente: IDAE.

Las aplicaciones de este sistema son: cortas a hecho de pinares o eucaliptos, ambas en montes pequeños, con el inconveniente de la dificultad de encontrar cargaderos. Por tanto, el coste de transporte de las máquinas es mayor.

Este sistema es el más económico en montes medianos.

### Empacado en monte y astillado en fábrica

Es el planteamiento más adecuado para grandes plantas de co-combustión con un gran radio de abastecimiento, por ser menos exigente en presencia de impurezas y humedad que plantas de menor tamaño.

Una de las ventajas es que emplea los mismos métodos que para la madera (trituradoras/astilladoras, camiones, autocargadores) y se reducen problemas logísticos, de forma que al disminuir el volumen del material se abaratan los costes del transporte y manipulación en distancias medias y cortas.

Este sistema tiene una buena aplicación para cortas a hecho o casi de pinares o de eucalipto, en fincas pequeñas con accesos complejos, siempre y cuando el consumidor sea de tamaño medio o grande, con un radio de abastecimiento amplio.

Según un estudio hecho en 2004, el coste total de todo este proceso sería de 15,6 €/m<sup>3</sup>, incluyendo transporte a 80 km y astillado en planta. Para una densidad de 450 kg/m<sup>3</sup>, supondría 34,67 €/t puesto en planta.

### Extracción y aprovechamiento de tocones

Es el sistema más caro, pero su uso se está extendiendo por la gran demanda de los países nórdicos. La extracción se realiza con una retro adaptada y luego se realiza una pretrituración lenta e incluso previa al transporte, aunque en algunos casos se transporta en bruto y es tratada en una fábrica desde el principio. Normalmente los clientes de esta biomasa dan tratamientos secundarios a la madera (limpieza, triturado/astillado definitivo).

Este sistema es ideal en deforestaciones para infraestructuras (autovías, AVE...), destocado de eucaliptos con problemas sanitarios o por cambio de cultivo y en el destocado de choperas.

Es probable que sea el sistema de suministro que más crezca, aunque sólo sea adecuado para grandes consumidores.

#### 2.1.2. Agrícola

La maquinaria y los sistemas de recolección de las especies agrícolas no difieren cuando se trata de cultivos destinados para la obtención de biomasa o cuando se trata de la obtención de grano o paja.

## 2.2. Pretratamiento

La utilización energética de los recursos biomásicos tiene una serie de limitaciones debidas a su propia naturaleza y heterogeneidad.

- Tamaño y granulometría variable.
- Baja densidad.
- Gran dispersión geográfica de los residuos.
- Elevados coste de extracción.
- Dificultad de transporte y manipulación.
- Presencia de productos indeseables (piedras, arena, metales, plásticos, etc.).

Los pretratamientos que se aplican a la biomasa son una serie de procesos de acondicionamiento y transformación física de los residuos, de manera que mejoran sus características y su eficiencia como combustible.

En función del tipo de biomasa, el estado en que es recogida y las características finales que ha de adquirir, se realizarán una serie de tratamientos, que están relacionados directamente con la aplicación final del combustible y su precio.

Las operaciones más usuales tanto para residuos agrícolas como forestales son:

### 2.2.1. Astillado o triturado

Con el astillado o triturado se consigue una primera fase de reducción de la granulometría del residuo, es decir, se obtiene materia de menor tamaño. La función del astillado se aplica a diferentes tipos de biomasa:

- Residuos forestales de tratamiento selvícola.
- Leñas procedentes de podas de frutales, olivo y ramas de vid.
- Residuos de industrias transformadores de madera.



Astillado de biomasa a pie de pista.

Fuente: IDAE.

Las astilladoras se clasifican en función de su sistema de tracción, así existe:

- **Astilladoras estáticas:** son aquellos equipos que se encuentran generalmente en el lugar del tratamiento de la biomasa y tienen una gran capacidad de procesamiento por hora.
- **Astilladoras semimóviles:** son equipos de grandes dimensiones con ruedas, que son desplazadas a las explotaciones para realizar el astillado en campo.
- **Astilladoras móviles:** son aquellos equipos que tienen la facilidad de trabajar dentro de las explotaciones tanto agrícolas como forestales. Este tipo de astilladoras pueden ser remolcadas por un tractor o autopropulsadas.

### 2.2.2. Molienda

Es la segunda etapa de reducción granulométrica de los residuos y se utiliza para conseguir combustibles de menor tamaño que las astillas, para compactarlos posteriormente y obtener productos de mayor calidad como los pellets y briquetas.

### 2.2.3. Cribado y tamizado

Son procesos para la clasificación de los residuos biomásicos según su tamaño, que posteriormente tendrán un aprovechamiento en diferentes aplicaciones.

### 2.2.4. Secado

Generalmente la biomasa suele tener un alto contenido en humedad entre el 20% - 50%, por lo que a la hora de su aprovechamiento térmico aparecen algunos inconvenientes:

- Aumento de los costes de extracción, manejo y transporte.
- Dificultad o imposibilidad de transformación en combustibles.
- Problemas operativos y disminución de los rendimientos en los procesos de conversión termoquímica.

Existen dos tipos de secado: natural y forzado.

- **Secado natural:** es el aprovechamiento de las condiciones ambientales para reducir el contenido de humedad de los residuos. Estas condiciones, con las

que se consigue la deshidratación de la biomasa, son una temperatura y humedad ambiental adecuadas.

- **Secado forzado:** es un método térmico, que consiste en la reducción de la humedad del residuo mediante el aporte de calor.

### 2.2.5. Densificación o compactación

Estos procesos se realizan cuando lo que se quiere obtener son combustibles de mayor densidad a partir de residuos biomásicos. El objetivo de estos procesos son dos:

- Obtención de material empaquetado, mejorando la densidad aparente para el transporte, para su posterior disgregación y triturado. Un ejemplo es el empaquetado de restos forestales o agrícolas (podas de frutales, sarmiento, etc.).
- Obtención de pellets y briqueta, que además de reducir los costes de transporte, se utilizan directamente como combustibles en las calderas de biomasa.

#### Empacado

El objetivo de este proceso es reducir el volumen de la biomasa, de forma que se consiguen disminuir los costes de transporte y almacenaje. Este proceso se realiza con una maquinaria especializada.

En el caso de los residuos agrícolas y cultivos agrícolas leñosos la compactación se realiza mediante empacadoras. En el caso de los residuos forestales existe maquinaria que permite recoger, compactar y atar la biomasa residual forestal en una especie de pacas.



Empacadora de residuos leñosos agrícolas y forestales.

Fuente: Trabisa.





Leñas, serrín, pellets y briquetas.

Fuente: IDAE.

#### Fabricación de briquetas y pellets

Los principales productos obtenidos de la compactación de la biomasa son las briquetas y los pellets, que además de su mayor densidad poseen otras ventajas como la homogeneidad, limpieza y facilidad de manejo. Para su fabricación generalmente se utilizan materiales residuales de procesos de transformación de la madera como serrines, virutas, polvo de lijado, etc. Estos residuos se generan en grandes cantidades en las industrias de transformación de la madera y pueden llegar a ser un problema de almacenamiento, manejo y eliminación.

También se pueden utilizar residuos de podas o tratamientos selvícolas. En estos casos la biomasa requiere una serie de tratamientos previos como el secado, astillado/triturado. Las operaciones en la fabricación de estos combustibles son necesarias en unas condiciones de humedad y granulometría especiales, por lo que los costes de proceso y el precio del producto final (briquetas y pellets) son altos, en comparación a otros biocombustibles sólidos como las astillas o los huesos de aceituna.

Las briquetas y los pellets son combustibles de gran calidad; debido a ello tienen un mayor valor añadido y a pesar de su elevado coste, su producción sigue siendo rentable. Estos combustibles son utilizados para calefacción, aire acondicionado y agua caliente sanitaria en aplicaciones domésticas.



Muestra de diferente tipos de pellets de biomasa residual.

Fuente: IDAE.

Las briquetas tienen unas densidades entre 900 kg/m<sup>3</sup> y 1.400 kg/m<sup>3</sup>. Son piezas cilíndricas de unos 25 cm de longitud y unos 6 cm u 8 cm de diámetro. Los pellets tienen la misma forma que las briquetas pero con dimensiones mucho menores, entre 2,5 cm a 6 cm de largo y con un diámetro ente 0,7 cm a 2 cm, su densidad es aproximadamente 1.200 kg/m<sup>3</sup> y con una densidad inferior al 10%.

Para la fabricación de estos dos combustibles se utilizan unos equipos que ejercen una fuerte presión sobre los residuos molidos, lo que da lugar a la plastificación de la lignina (componente de la madera).

En la tabla siguiente se puede comparar el Poder Calorífico Inferior de briquetas y pellets con otros biocombustibles sólidos, además de su aplicación o uso y precio por toneladas.

TABLA 7  
Propiedades de los combustibles biomásicos.

Combustibles	PCI seco (MJ/kg)	Humedad (% b.h.)	Uso	Precio (€/t)
Leña	14,4 - 16,2	20 a 60	Doméstico, individual	90 - 120
Astillas	14,4 - 16,2	20 a 60	Doméstico, Residencial, Industrial	36 - 80
Pellets	18 - 19,5	<12	Doméstico, Residencial	150 - 300
Briquetas	18 - 19,5	<12	Doméstico	150 - 300
Hueso de aceituna	18	12 a 20	Doméstico, Residencial, Industrial	60
Cáscara de frutos secos	16,7	8 a 15	Doméstico, Residencial, Industrial	60
Poda de olivar	17,2	20 a 60	Doméstico, Residencial, Industrial	36 - 50
Poda de vid	16,7	20 a 60	Doméstico, Residencial, Industrial	36 - 60

### 3. Tecnologías de utilización

Hoy en día existe tecnología más que suficiente y fiable para conseguir un aprovechamiento energético de la biomasa, entre las que cabe destacar:

- Combustión.
- Gasificación.
- Pirólisis.
- Digestión anaerobia.

#### 3.1. Combustión

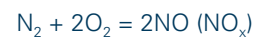
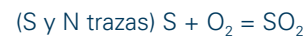
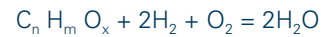
La combustión se define como una reacción química relativamente rápida, mediante la que se combinan el oxígeno del aire (comburente) con los diferentes elementos oxidables que contiene el combustible; en el proceso se origina



Cámara de combustión de una caldera de biomasa doméstica.

Fuente: IDAE.

desprendimiento de calor. Las reacciones típicas de un proceso de combustión completo se detallan a continuación:



Es necesario el paso por una serie de etapas, que son las siguientes:

- **Secado de la biomasa:** evaporación de la humedad contenida en el combustible (100 °C). Es endotérmica.
- **Quemado de volátiles:** vaporización, pirólisis y oxidación.
- **Quemado sólido carbonoso:** ruptura y vaporización de moléculas grandes a más pequeñas, oxidación.

Los equipos que se emplean en la combustión de biomasa se pueden clasificar como sigue:

##### 3.1.1. Caldera de la parrilla

Las calderas de parrilla usadas actualmente son:

- **Parrilla fija con alimentación inferior:**  
En este sistema el combustible se carga en la parrilla mediante un sinfín desde la zona inferior. La carga se produce por la parte frontal o por cualquiera de los laterales de la caldera.

Existen dos tipos de sistemas según la colocación de la parrilla:

- Horizontal.
- Inclínada.

- **Parrilla móvil:**  
En estos sistemas el combustible se carga en la cámara de combustión mediante un sinfín o mediante un sistema de alimentación hidráulico, luego se distribuye a lo largo de la parrilla mediante sus elementos móviles.

Este tipo de calderas son las más usadas en la combustión de biomasa, usando uno u otro tipo dependiendo del tipo de biomasa que se vaya a utilizar.

Estas calderas suelen emplear sistemas de alimentación por tornillo sinfín o por sistema neumático.

A medida que aumenta el tamaño de la caldera, también van aumentando el número de puntos de introducción de la biomasa en ella.

### 3.1.2. Lecho fluido

Consiste en desarrollar la combustión en el seno de una masa en suspensión de partículas de combustible, cenizas y un inerte, que son fluidizados por una corriente de aire de combustión de forma ascendente. Las calderas de lecho fluido pueden ser:

- **Burbujante:** opera con inyección de aire a bajas velocidades y se caracteriza porque permanece en el lecho la mayor parte de los sólidos (tan sólo pasa al ciclón un 10%).
- **Circulante:** con velocidades más elevadas del aire de fluidización se produce el arrastre de una gran cantidad de sólidos del lecho, por lo que se puede reciclar una parte de éstos mediante un ciclón o multicyclón, lo que da lugar al denominado lecho fluidizado circulante, que puede ser a su vez:
  - Atmosférico.
  - A presión. En este caso se pueden usar turbinas de gas aunque es más complejo.

#### Ventajas del lecho fluido

- Diversidad de combustibles.
- Temperatura uniforme (mejor control, menos escorias, menos inquemados).
- Sencillez de sistemas de alimentación, retirada de cenizas, control del equipo.
- Mayor transferencia de calor.
- Menor exceso de aire: menos humos.
- Menor temperatura: menos escorias, menos formación de gases muy reactivos ( $\text{NO}_x$ ).
- Mayor rendimiento.

#### Inconveniente del lecho fluido

- Mayor coste.
- Menor desarrollo.
- Posible abrasión por el lecho.
- Necesidad de ciclones.
- Mayor posibilidad de corrosión (por recombinación de óxidos sulfurosos a sulfúricos y de ahí a ácido sulfuroso y sulfúrico).

### 3.2. Gasificación

La gasificación de un sólido es un proceso que engloba la descomposición térmica de la materia orgánica y la acción de un gas, que reacciona principalmente con el residuo carbonoso procedente de la descomposición térmica.



Gasificador de lecho fluidizado de Energía Natural de Mora.

Fuente: IDAE.

Por gasificación se transforma un material sólido en un gas (gas de síntesis) susceptible de ser aprovechado como combustible o como materia prima (metano, amoniaco, metanol, gasolina).

Dependiendo del medio gasificante utilizado pueden distinguirse distintos procesos de gasificación, que dan diferentes distribuciones de productos con distintas aplicaciones.

- **Gasificación con aire:** el aire se introduce principalmente para aporte de calor mediante la combustión de parte del residuo carbonoso. Se obtiene un gas combustible de bajo contenido energético (< 6 MJ/Nm<sup>3</sup>).
- **Gasificación con oxígeno:** se cambia el aire por oxígeno en la reacción, y se produce un gas de medio contenido energético (10 MJ/Nm<sup>3</sup> - 20 MJ/Nm<sup>3</sup>).
- **Gasificación con vapor de agua y oxígeno (o aire):** en este caso se produce un gas que al estar enriquecido con hidrógeno y CO se puede utilizar como gas de síntesis para metanol, amoniaco, gasolina.
- **Gasificación con H<sub>2</sub>:** se produce un gas de alto contenido energético (> de 30 MJ/Nm<sup>3</sup>), que por tener alto

porcentaje de metano y olefinas, puede utilizarse como sustituto del gas natural.

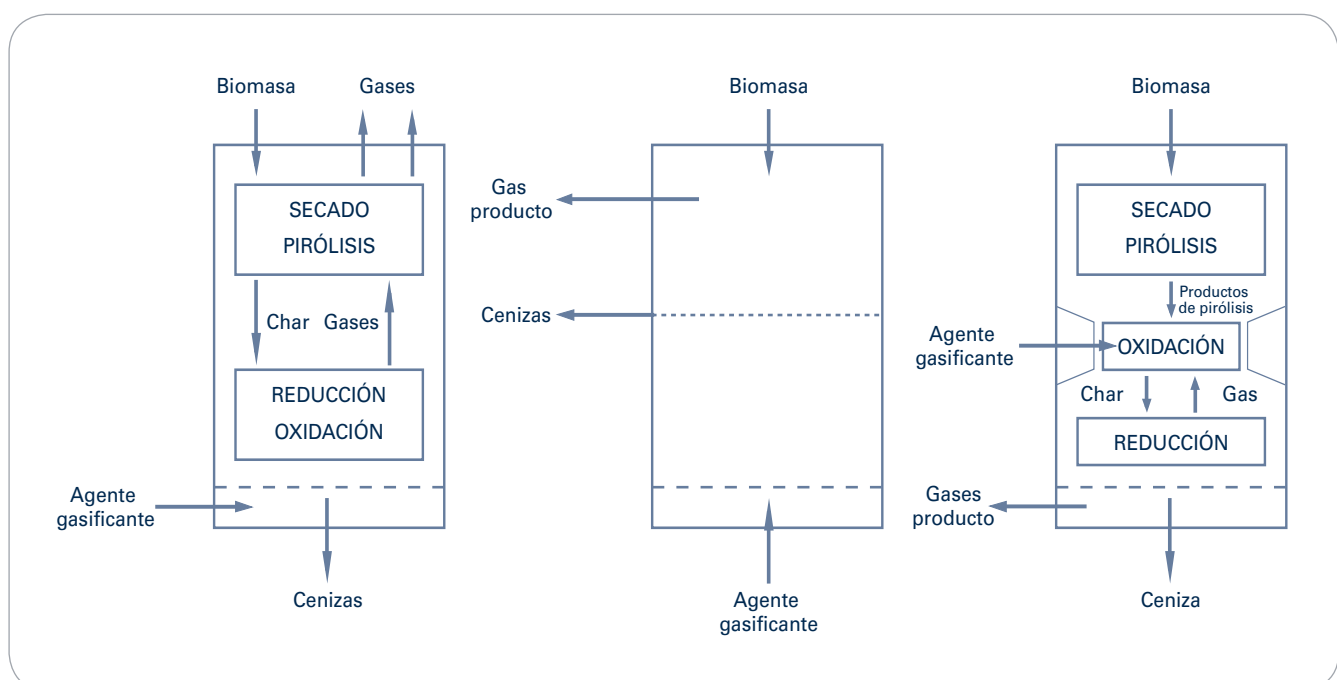
### 3.2.1. Termoquímica de la gasificación

En la gasificación se producen varias reacciones físicas y químicas. Las físicas consisten en la evaporación de la humedad de la biomasa y en la posterior pirólisis de las moléculas de hidrocarburos (de sólido a líquido y gas y de líquido a gas).

A continuación, se empiezan a producir reacciones químicas de oxidación y de reducción. Las más habituales son:

- $C + H_2O = CO + H_2 + 130,2 \text{ MJ}$
- $C + 2H_2 = CH_4 - 74,9 \text{ MJ}$
- $C + CO_2 = 2CO + 170 \text{ MJ}$
- $2C + O_2 = 2CO - 222,8 \text{ MJ}$
- $2CO + O_2 = 2CO_2 - 564 \text{ MJ}$
- $CO + H_2O = CO_2 + H_2 - 40,67 \text{ MJ}$
- $CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O - 206,2 \text{ MJ}$

FIGURA 3  
Esquemas de funcionamiento de gasificadores: de izquierda a derecha: gasificador *updraft*, gasificador de lecho fluidizado y gasificador *downdraft*.



### 3.2.2. Tipos de la gasificadores

- **Lecho móvil**

1. Sencillo de construir y operar.
2. Difícil control de los productos a obtener.
3. Se forman muchos alquitranes.
4. Peligro de fusión de cenizas.
5. Tipos:
  - a. Contra corriente (*updraft*).
    - Baja calidad del gas obtenido.
    - Baja temperatura del gas (bueno para combustión directa).
  - b. Corrientes paralelas (*downdraft*).
    - Gas con bajo contenido declarado en alquitranes.
    - No adecuado para biomasa muy húmeda.
    - Gas aceptable para turbinas de gas por su mayor calidad.

- **Lecho fluido**

1. No se forman líquidos, al registrarse mayor temperatura.
2. Más fácil controlar el proceso.
3. Mayor contenido energético del gas.
4. Difícil fluidizar la biomasa.
5. Importante arrastre de sólidos.

### 3.2.3. Ventajas e inconvenientes de la gasificación

Las ventajas de esta tecnología son:

- Mayor flexibilidad.
- Puede usarse el gas en motores, con posterior generación de energía eléctrica.
- Puede usarse para ciclos combinados (mayor eficiencia).
- Más limpia.

Los inconvenientes son:

- Se pueden producir alquitranes y partículas, que deben eliminarse.
- Difícil de usar para materiales con alto contenido en cenizas.

Hoy en día en España ya hay tecnología de gasificación fiable, que da alto rendimiento y que no tiene problemas de alquitranes, debido al diseño de los reactores y a las condiciones en las que se producen las reacciones en su interior.

### 3.3. Pirólisis

La pirólisis es la degradación térmica de la biomasa en ausencia de un agente oxidante.

La descomposición térmica de los materiales biomásicos se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas, además de procesos de transferencia de masa y calor, lo que hace difícil predecir el transcurso de la pirólisis, puesto que influyen una serie de variables como son las condiciones de la operación o el tipo de biomasa empleado. Todos los compuestos orgánicos se descomponen cuando se los somete a calentamiento.

La pirólisis de madera puede ser considerada o representada adecuadamente como la suma de la pirólisis de sus tres constituyentes: celulosa, hemicelulosa y lignina por separado.

La pirólisis de madera es un proceso utilizado desde hace largo tiempo, por lo que se han empleado otros términos para caracterizarla, los más usuales son:

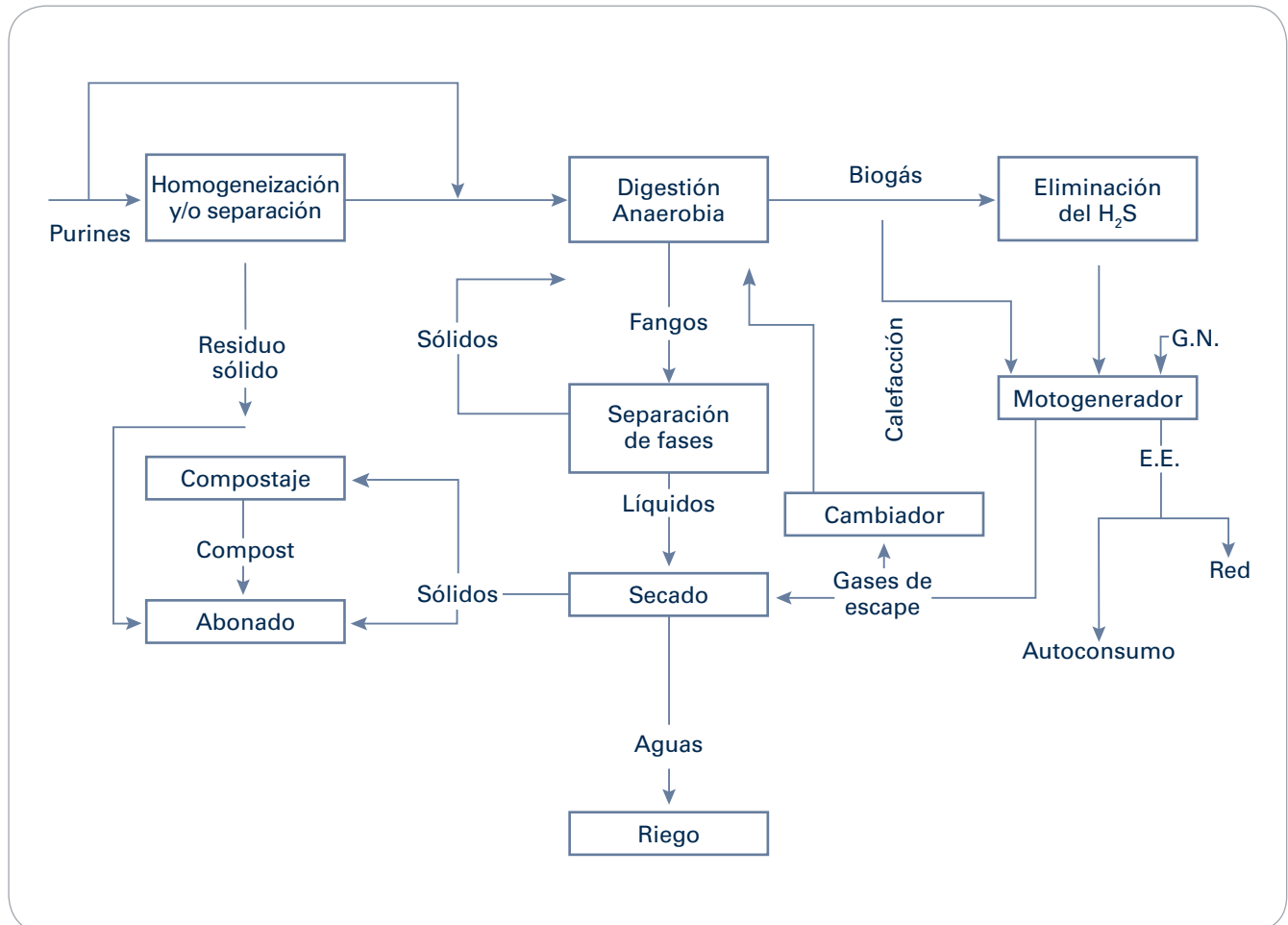
- **Carbonización**, cuando el principal producto obtenido es el carbón.
- **Destilación de madera**, cuando lo que se desea es el líquido piroleñoso o alquitrán.
- **Destilación destructiva**, cuando se produce carbón y líquido alquitranoso.
- **Gasificación por pirólisis rápida**, cuando se obtiene principalmente gas (esta reacción es de aplicación muy reciente).

### 3.4. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el conjunto de unos procesos bioquímicos escalonados en los que una serie de bacterias transforman la materia orgánica en biogás y dejan un residuo llamado digestato (fango).

- El biogás es un combustible formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) (50% - 75%); dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (25% - 50%); sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ( $\leq 1\%$ );  $\text{H}_2$ ; monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en pequeñas cantidades.

FIGURA 4  
Esquemas de funcionamiento de un proceso de digestión anaerobia.



Fuente: AEDIE.

- Dependiendo de la composición, el poder calorífico varía desde 4.500 kcal/m<sup>3</sup> a 6.300 kcal/m<sup>3</sup> (5,2 kWh/m<sup>3</sup> - 7,3 kWh/m<sup>3</sup>). Es decir, un 52% - 73% del gas natural. El Poder Calorífico Medio (PCI): 5.500 kcal/m<sup>3</sup> partiendo de purines.
- La fracción sólida del digestor sedimenta con facilidad y se puede reintroducir en el digestor para mejorar el proceso.
- El agua resultante (con sales minerales en disolución), se puede utilizar para riegos, o bien concentrar las sales para usarlas como abono inorgánico.

### 3.4.1. Digestores

Son recipientes herméticos en los que se realizan las diferentes etapas biológicas que transforman la materia orgánica biodegradable en biogás.



Planta de digestión anaerobia de purines de cerdo con mezcla de otros residuos orgánicos.

Fuente: IDAE.

El proceso se debe diseñar para facilitar el trabajo de las bacterias. Además, el diseño del digestor debe tener como premisas el buen funcionamiento de la carga y descarga, la transmisión de calor y la agitación.

Las bacterias son muy sensibles a la temperatura. Hay dos franjas entre 30 °C - 40 °C (mesófila) y entre 50 °C - 60 °C (termófila), en las que la metanización es mejor.

• **Rango mesófilo**

- Proceso más lento.
- Proceso más eficiente.
- Menor consumo de energía.
- Mayor tamaño de los equipo.

• **Rango termófilo**

- Proceso rápido.
- Proceso eficiente.
- Mayor consumo de energía.
- Menor tamaño de los equipos.

**3.4.2. Proceso de biodigestión**

La calidad y estabilidad de composición del biogás depende de un aporte regular de materia prima. Un pH ácido o muy

básico, así como algunos metabolitos debidos a una alimentación animal incorrecta, pueden reducir la efectividad, e incluso matar a ciertas bacterias.

Son mejores y más fiables los digestores de acero inoxidable o de materiales compuestos.

De forma simplificada, las fases que se producen en el digestor son:

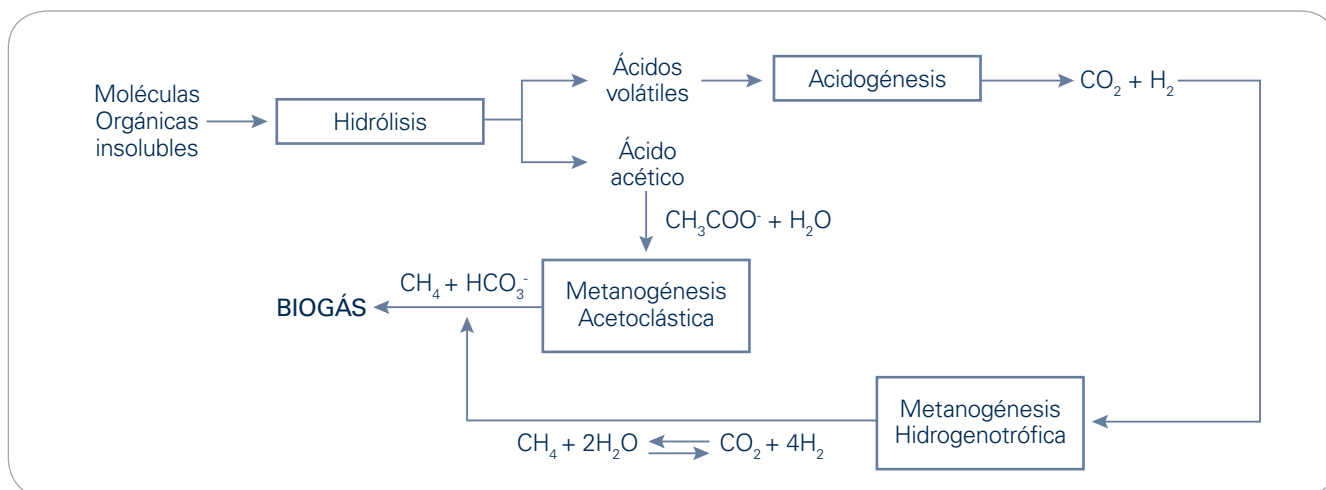
- Entrada de grandes moléculas orgánicas en el digestor.
- Las bacterias hidrolíticas rompen esas moléculas y producen otras más simples (ácidos volátiles y ácido acético).
- Las bacterias metanogénicas usan el ácido acético, más el H<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> para producir metano.

**3.4.3. Beneficios de la digestión anaerobia**

• **Debido a la utilización de los residuos**

- Reducción de los problemas de su gestión.
- Reducción de los vertidos incontrolados.
- Reducción de la contaminación de suelos y acuíferos.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la fermentación incontrolada.

FIGURA 5  
Esquema del proceso de biodigestión.





- Debido a la producción de abonos

- Recuperación de parte de la materia orgánica para su reincorporación al suelo, de forma concentrada (sin agua), pero no peligrosa.
- Reducción de olores debido a la digestión de los purines.
- Reducción del coste de transporte.
- Permitir un abonado más regular y de mejor calidad al utilizar una granulometría homogénea y una composición conocida y estable.

- Debido a la recuperación del agua

- Posibilidad de efectuar riegos con un efluente libre de muchos organismos patógenos.
- No agotar los recursos hídricos subterráneos.

- Debido a la producción de energía de origen renovable

- Reducción de la demanda eléctrica y térmica de las instalaciones.
- Reducción de la dependencia de energía externa.
- Exportación y venta de excedentes eléctricos.
- Reducción de emisiones contaminantes y de efecto invernadero.
- Reducción del consumo de energía en el transporte de electricidad y combustibles.

## 4. Aplicaciones

### 4.1. Calefacción

La biomasa, al igual que el gas o el gasóleo, sirve para alimentar un sistema de climatización (calor y frío). Actualmente existen muchos biocombustibles sólidos que se utilizan en sistemas de climatización de edificios, entre los que destacan por su gran calidad los pellets y las briquetas. Además, también es muy usual la utilización de huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, etc.

Las calderas de biomasa son equipos compactos diseñados específicamente para su uso, ya sea doméstico, en viviendas

unifamiliares, edificios de viviendas o comerciales, aunque existen también modelos para instalaciones industriales. Todas ellas presentan sistemas automáticos de encendido y regulación e, incluso algunas, de retirada de cenizas, que facilitan el manejo al usuario. Para aplicaciones de calefacción doméstica o comercial, estos equipos son de potencia baja a media, hasta 150 kW - 200 kW. Este tipo de sistemas alcanzan rendimientos entre 85% y 92%, valores similares a los de las calderas de gasóleo o de gas.

Un caso concreto, cada vez más extendido son las calderas de pellets. Debido a las características del pellet: poder calorífico, compactación, etc. Las calderas diseñadas para este tipo de combustible son muy eficientes y más compactas que el resto de las de biomasa.

Para la elección de una caldera de este tipo se debe tener en cuenta una serie de características:

- Fiabilidad del sistema.
- Rendimiento de la combustión de la caldera. Cuanto más alto sea éste, el consumo será menor y mejorará la eficiencia.



Caldera automática multi-combustible.

Fuente: IDAE.

- Cumplimiento de la normativa de emisiones de gases y partículas.
- Sistema de regulación y control sencillo para el usuario.
- Automatización del sistema de limpieza o mínima necesidad de limpieza.
- Fácil mantenimiento y operatividad de la caldera.
- Buenos servicios técnicos.
- Garantía de suministro de combustible.

Un sistema de calefacción con biomasa consta de una serie de equipos o sistemas principales:

- **Almacén de combustible:** silo, tolva.
- **Sistema de alimentación:** tornillo sinfín, neumático, o gravedad.
- **Caldera:** cámara de combustión, zona de intercambio, cenicero, y caja de humos.
- **Chimenea:** igual que un sistema convencional.
- **Sistema de distribución de calor:** igual que un sistema convencional.
- **Sistema de regulación y control:** igual que un sistema convencional en cuanto a la interfaz del usuario.



Sistema de climatización (Calor y frío) de la Casa de la Cultura de Viana de Cega, Valladolid.

Fuente: IDAE.

## 4.2. Refrigeración por absorción

La climatización con biomasa es técnicamente posible empleando sistemas y equipos comerciales, que están en el mercado, que son homologados y que están demostrando su eficiencia y fiabilidad, con costes operativos competitivos.

Un sistema de refrigeración por absorción difiere de un sistema de compresión eléctrica en que la energía que acciona el compresor es calor, en forma de agua caliente, producida en una caldera de biomasa.

La máquina de absorción enfría el agua que circula por el circuito de distribución de frío hacia los fancoils, los climatizadores, o el sistema emisor elegido. Emplea refrigerantes inocuos en el caso de fuga, como son soluciones acuosas, cloruro y bromuro de litio.

El empleo del sistema de absorción, como alternativa a grupos enfriadores accionados por electricidad aumenta el número de horas anuales de uso de la caldera de biomasa, mejorando su rentabilidad. Por otro lado, utiliza pellets en épocas de calor, cuando éstos son más baratos por haber menor demanda.

## 4.3. Producción de calor industrial a partir de biomasa

Esta generación se realiza por medio de calderas. Las calderas de biomasa tienen en la actualidad unas prestaciones superiores a las de carbón, gasoil o gas. Estas calderas aprovechan el calor generado por la combustión de la materia orgánica como serrín, astillas, triturados de madera y preparados para la combustión como los pellets, y los transmiten al sistema de calefacción o producción de calor, que alcanza un rendimiento del 96%. Estas calderas tienen dispositivos de limpieza automática y tecnología que regula su funcionamiento.

El esquema general de una caldera consiste en:

- Tolva de biomasa.
- Tornillo sinfín que lleva la biomasa al quemador.
- Quemador.
- Tubular intercambiador.
- Cuadro eléctrico que hace la caldera automática.

La instalación para biomasa es la misma que con gasoil. Únicamente la chimenea debe ser inoxidable y el vaso de expansión un poco más grande.



**Caldera de viruta de madera.**

Fuente: IDAE.

Las calderas de biomasa pueden ser domésticas o industriales. Estas últimas pueden alcanzar los 1.500 kW y si son sistemas multicombustibles los 6.000 kW/h.

Con potencias entre 15 kW y 100 kW, y la posibilidad de usar como combustible madera, pellet o material residual picado, la utilización de estas calderas se muestra como la mejor opción en aplicaciones como aserraderos o secaderos de madera en los que a la demanda de energía térmica requerida en el proceso de secado de la madera se une la disponibilidad permanente de combustible de bajo coste, que permite a la vez la eliminación de residuos que de otro modo requerirían de un espacio para su almacenamiento o tratamiento con los consiguientes costes derivados.

La caldera que se muestra a continuación se utiliza en la industria en un aserradero. Su función es la de generar calor para secar el serrín, que servirá a la producción de los pellets a posteriori. Como combustible de estas calderas se utilizan residuos del propio aserradero, lo que hace aún más interesante su utilización.

Cuando se quiere una autonomía superior en los sistemas generadores de calor biomásicos es necesaria la realización de un silo de almacenamiento de biomasa.

Estos silos de almacenamiento se componen de un removedor de palas flexibles, con motor y reductora que alimenta un tornillo/conducto sinfín que a su vez realiza el aporte de combustible desde el silo de almacenamiento al interior de la caldera de biomasa.

Si el silo debe alimentar calderas de biomasa de elevada potencia, o en el caso de que se requiera gran capacidad de almacenamiento de combustible es necesaria la construcción de un almacén de tipo suelo móvil con bandas transportadoras hasta la pretolva de alimentación de la caldera.

#### 4.4. Cogeneración

La cogeneración consiste en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica, utilizando como combustible la biomasa. Se puede realizar cogeneración con biomasa pretratada por astillado, molienda, compactación o por transformación en distintos procesos termoquímicos (gas de síntesis) o biológicos (biogás).

Esta tecnología tiene como gran ventaja que los rendimientos globales son superiores a los de los sistemas de producción de energía eléctrica y térmica por separado.

En un principio la cogeneración consiste en el aprovechamiento del calor residual de sistemas de producción eléctrica (turbina de vapor, gasificación, digestión anaerobia, etc.), de tal manera que, en vez de perderse, es aprovechada para su uso térmico, por lo que origina unos rendimientos mayores.

La cogeneración es el sistema más eficaz para el aprovechamiento de un combustible, ya que generalmente un sistema de producción eléctrica alcanza una eficiencia de alrededor del 30% (ciclos de vapor, turbinas, motores, etc.), y deja escapar todo su calor residual, por lo que con un sistema de cogeneración el rendimiento del combustible puede llegar hasta una eficiencia del 85%.

##### 4.4.1. Marco legal

###### 4.4.1.1. Visión general

La producción de electricidad a partir de fuentes renovables como la biomasa estaba regulada desde 1993, hasta junio de 2007 con la aprobación del Real Decreto 661/2007, texto que regulaba la producción de energía eléctrica en régimen especial. Se publicó también en mayo de 2007 el Real Decreto 661/2007, de fomento de la cogeneración.

Con la aprobación del nuevo real decreto se crea un escenario favorable para las cogeneraciones con biomasa, espe-

cialmente en el sector terciario, y éste se muestra exigente con aquellas cogeneraciones con poca valorización del calor.

#### 4.4.1.2. Instalaciones híbridas

En el caso de plantas en las que la biomasa no sea el único combustible, o coexistan biomásas encuadradas en diferentes grupos, la retribución de cada una de ellas se hará atendiendo a la energía aportada por cada una de las fuentes, en función de la masa y del poder calorífico inferior (kWh /kg) de cada una.

#### 4.4.1.3. Estructura de la retribución

Para la venta de la energía eléctrica exportada a la red se puede elegir una de las dos opciones siguientes.

- **Tarifa regulada:** la componente principal del precio es fija, denominada precio tarifa base (Ptr), a la que se aplican una serie de complementos.
- **Mercado de energía eléctrica:** el precio va siguiendo el de la electricidad hora a hora en el mercado, incrementado en una determinada prima y una serie de complementos. La retribución principal es, en este caso, la suma del precio de mercado diario (PMD) más una prima (P).

En cualquier caso, el productor de electricidad ha de mantenerse en la opción elegida hasta no haber transcurrido 12 meses desde el cambio anterior.

TABLA 8  
Precios de venta de electricidad.

Resumen de los componentes de la retribución de la electricidad en régimen especial		
Opción 1	Tarifa regulada única	$PFT = Ptr + CR + DH + Cef - Des$
Opción 2	Mercado	$PFM = PMD + P + GP + CR + Cef - Des$

Fuente: RD 661/2007.

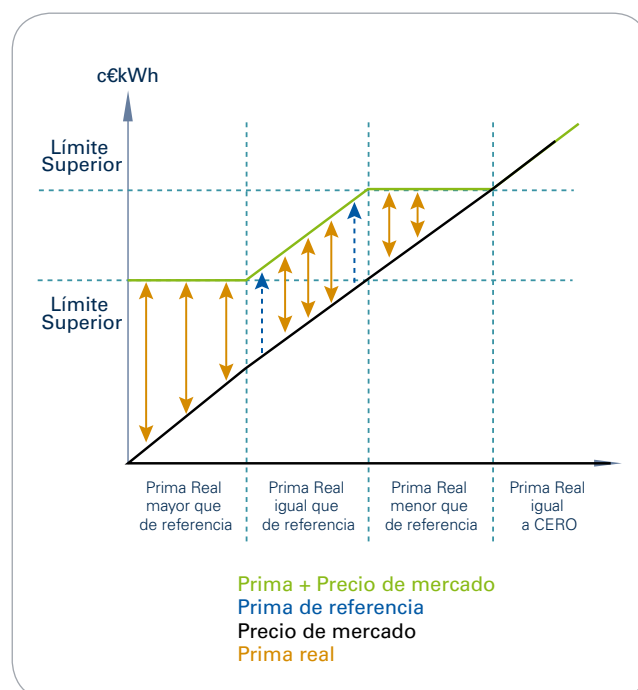
Los complementos que se añaden a la retribución principal son:

- **Complemento por energía reactiva (CR):** ambas opciones (a tarifa o a mercado) perciben un complemento por energía reactiva.

- **Garantía de potencia (GP):** las plantas que acudan al mercado recibirán un complemento por garantía de potencia.
- **Complemento por eficiencia (CEF):** todas las plantas que sobrepasen los REE mínimos exigidos recibirán un complemento por eficiencia. Sólo aplicable a cogeneración.
- **Complemento por discriminación horaria (DH):** complemento opcional para las plantas en la opción a tarifa.
- **Desvíos (DES):** a todas las instalaciones se les repercutirá un coste de desvío por la variación entre la previsión y la exportación real.

Los precios regulados, las primas de referencia y los límites superior e inferior se fijan para cada grupo.

FIGURA 6  
Retribución y prima real en función del precio de mercado (pool).



Fuente: Besel S.A.

#### 4.4.1.4. Actualizaciones y revisión de precios y primas variables para instalaciones de biomasa

Los importes de las tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior del precio horario del mercado para la biomasa, se actualizarán anualmente según el IPC menos:

- 0,25% hasta el 31 de diciembre de 2012.
- 0,50% a partir de entonces.

Durante el año 2010, según el grado de cumplimiento del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 y de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4), así como de los nuevos objetivos que se incluyan en el siguiente Plan de energías renovables para el período 2011-2020, se revisarán las tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior definidos ahora, atendiendo a los costes asociados a cada una de estas tecnologías, al grado de participación del régimen especial en la cobertura de la demanda y a su incidencia en la gestión técnica y económica del sistema, garantizando siempre unas tasas de rentabilidad razonables con referencia al coste del dinero en el mercado de capitales. Cada cuatro años, a partir de entonces, se realizará una nueva revisión en el que se mantendrán los criterios anteriores.

Las revisiones a las que se refiere este apartado de la tarifa regulada y de los límites superior e inferior no afectarán a las instalaciones cuya acta de puesta en servicio se hubiera otorgado antes del 1 de enero del segundo año posterior al año en que se haya efectuado la revisión.

Una revisión de tarifas tiene efecto sólo sobre las plantas que se hayan puesto en marcha a partir del 1 de enero del año siguiente a su publicación. El objetivo es dar un plazo suficiente a los promotores para que actualicen sus proyectos a las tarifas que les vayan a afectar.

La prima sólo se otorga a las instalaciones que venden su electricidad en el mercado, ya sean de cogeneración o de producción de electricidad solamente. La prima consiste en una cantidad adicional al precio que resulte en el mercado organizado o el precio libremente negociado por el titular o el representante de la instalación.

## 5. Impacto ambiental de la biomasa

Con excepción de los residuos sólidos urbanos (RSU) y los industriales que se utilizan en la propia industria que los genera, la utilización de los residuos y los cultivos energéticos como fuente de energía ofrece una serie de impactos positivos. Estos impactos no deben dejar de considerarse al diseñar las políticas y regulaciones que permitan impulsar su desarrollo; entre ellos cabe destacar:

### Intensificación y mejora del manejo del bosque

Un incremento en la demanda de madera como combustible puede proveer incentivos para la recolección de los residuos de desmonte, lo que a su vez facilitaría la preparación poste-

rior del lugar para la reforestación. La venta de los residuos de raleo o de cosecha puede generar un ingreso adicional, ya que permite al industrial forestal realizar mayores inversiones en el manejo de sus montes y un aprovechamiento más racional de ellos. Por lo tanto, el uso de residuos forestales para energía puede contribuir al objetivo final de intensificar y mejorar el manejo del bosque. Además posibilita la utilización de los residuos agrícolas de las explotaciones localizadas en el entorno de la planta de transformación.

### Utilización de los residuos

En las industrias forestales existe el concepto que los residuos representan un desecho del que es necesario desprenderse, lo que lleva a su quema o deposición incontrolada en el entorno, lo que ocasiona graves perjuicios. Pero si estos residuos se eliminan, esto supone una mejora de las condiciones ambientales y sanitarias de la zona en que se producen.

### Reducción de emisiones

La recolección y uso de los residuos forestales puede reducir las emisiones nocivas, tanto de la quema incontrolada in situ como de los incendios forestales. El balance de CO<sub>2</sub> emitido es neutro. La combustión de biomasa, si se realiza en condiciones adecuadas, produce agua y CO<sub>2</sub>, pero la cantidad emitida de este último gas, principal responsable del efecto invernadero, fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, el CO<sub>2</sub> de la biomasa viva forma parte de un flujo de circulación continuo entre la atmósfera y la vegetación, sin que suponga incremento de ese gas en la atmósfera con tal de que la vegetación se renueve a la misma velocidad que se degrada.

### Prevención de los efectos de lluvia ácida

La combustión de biomasa forestal contribuye a la neutralización del efecto de la lluvia ácida, combinación de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los gases reactivos NO<sub>x</sub> con vapor de agua, dado que existe una disminución de la emisión de derivados del azufre y a que los combustibles de biomasa poseen un tenor considerablemente menor que los combustibles fósiles.

### Innovación tecnológica

La tecnología para su aprovechamiento cuenta con un buen grado de desarrollo tecnológico para muchas aplicaciones. Es un importante campo de innovación tecnológica. Las respuestas tecnológicas en curso están dirigidas a optimizar el rendimiento energético del recurso, minimizar los efectos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones, incrementar la competitividad comercial de los productos y posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles, entre otros.

Todo lo anterior constituye un importante argumento para sostener la conveniencia y pertinencia del diseño de una polí-

tica energético-ambiental que considere prioritariamente el aprovechamiento múltiple y racional de los recursos y residuos forestales.

Sin embargo, la obtención de energía a partir de la biomasa conlleva otros inconvenientes.

### Emisiones de sustancias contaminantes

Los procesos de transformación de la biomasa suponen la aparición de sustancias contaminantes que se vierten al medioambiente en mayor o menor grado, dependiendo de la naturaleza de los reactivos y de las tecnologías utilizadas. Entre ellas, destacan las siguientes:

- **Dióxido de carbono.** A diferencia de los combustibles fósiles, el dióxido de carbono originado en el proceso de transformación de la biomasa es devuelto a la atmósfera, desde donde fue tomado durante su generación. Según esto, el uso de la biomasa como combustible no hace aumentar el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera y, por lo tanto, no contribuye al efecto invernadero. La realidad es que, si el ritmo en dicho uso se hace muy alto, y es superior al ritmo de producción de la biomasa, aumentará la cantidad de dicho compuesto en el aire.
- **Monóxido de carbono.** En el caso del monóxido de carbono, las emisiones que se producen al quemar biomasa son mayores que cuando se quema carbón, aunque influye notablemente la tecnología utilizada. La reducción en la formación de este compuesto se consigue cuando el equipo de combustión funciona adecuadamente y se garantiza que ésta sea completa.
- **Compuestos de azufre.** Los compuestos de azufre que se forman durante la combustión son los óxidos de azufre, que pueden llegar a convertirse en ácido sulfúrico, y este es una de las sustancias que contribuyen a la lluvia ácida. También se pueden formar óxidos de azufre en los procesos de fermentación y en la pirólisis de la biomasa.
- **Óxidos de nitrógeno.** Los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del contenido en la biomasa y en el aire, que se necesita en algunos de los procesos de su uso y transformación. Parece que, como la biomasa normalmente se quema a temperaturas inferiores a las que lo hacen los combustibles fósiles, la formación de óxidos de nitrógeno es inferior a la que se produce con estos últimos.
- **Sustancias cancerígenas.** Algunas de las sustancias que se emiten son el ácido acético, fenol, y aceites insolubles en agua como benceno, tolueno, benzopireno e hidrocarburos aromáticos policíclicos. En el caso de estos últimos, el problema que existe es que, una vez en el exterior y en contacto con el suelo, se transforman en sustancias que contienen nitrógeno y oxígeno, y que presentan mayor poder cancerígeno que las iniciales. La formación de estos hidrocarburos se debe a la combustión incompleta de las materias orgánicas, y hay que señalar que no sólo están asociadas a la biomasa, sino que también se producen en grandes cantidades en la combustión incompleta del carbón y de los derivados del petróleo, como la gasolina.
- **Residuos sólidos.** En la combustión de la biomasa, se obtienen cenizas como productos sólidos. La retención, extracción y el tratamiento de estas sustancias puede contaminar el agua y el suelo debido a la presencia de sustancias tóxicas entre los compuestos que constituyen las cenizas, como son el plomo o el cadmio, por lo que es necesario un control exhaustivo en las diferentes etapas que constituyen el tratamiento de éstas.
- **Riesgo de incendios.** A diferencia de lo que ocurre con los residuos agrícolas, que se dejan en el campo y que actúan como protección contra la erosión de los suelos, los residuos de la explotación forestal abandonados en el terreno impiden la formación de un tapiz herbáceo que disminuya los riesgos de erosión, a la par que aumentan las posibilidades de incendio por la madera seca y otros efectos indeseables.
- **Deforestación.** Los problemas de deforestación asociados con la explotación de la biomasa se producen cuando se sobrepasa la capacidad de regeneración del bosque. Esto ha sucedido muchas veces en el pasado. Este problema se ha reducido extraordinariamente en los países desarrollados, en los que se practica, en general, una explotación del bosque basada en criterios racionales. Sin embargo, subsiste todavía en muchos países del tercer mundo, en los que la biomasa es con frecuencia el único recurso disponible para la mayor parte de la población.
- **Ruidos.** El funcionamiento de la planta puede ocasionar ruidos o vibraciones.
- **Necesidad de búsqueda de nuevos cultivos.** Se necesitan cultivos diferentes a los tradicionales ya que éstos han sido seleccionados para fines alimenticios o industriales, pero no energéticos.
- **Falta de experiencia y riesgo de plagas.** Falta de experiencia del agricultor y de los técnicos del sector agrícola en este tipo de cultivos. Al tratarse de nuevos cultivos es posible que haya que poner a punto

técnicas específicas de cultivo y prever la necesidad de estudiar posibles nuevas plagas y enfermedades que aparezcan.

- **Dependencia de las condiciones climáticas y sus fluctuaciones:**

- **Producciones estacionales.** Es necesario almacenar la biomasa para garantizar el suministro durante el año o combinar distintos tipos de cultivos o de cultivos y residuos.

## 6. Impacto socio-económico

Las principales barreras que afectan a la aplicación de la biomasa no son de carácter tecnológico sino de mentalidad y de capacidad organizativa en todos los sectores sociales implicados y los ámbitos de acción posibles (público o privado). Incluso el subsector de biocombustibles que es, probablemente, el menos desarrollado, cuenta con recursos científico-técnicos suficientes.

- **Planificación de la recogida de materias primas.** En el caso de cultivos energéticos y de residuos de cultivos, así como de los residuos forestales. Las principales dificultades que presentan tienen que ver con la dispersión espacial del recurso, la abundancia de productores, la estacionalidad, la variabilidad de la producción, la dificultad de planificar podas, limpiezas, siegas, y coordinar a los agentes implicados. Gestionar adecuadamente estas cuestiones es clave para aprovechar los recursos más abundantes.
- **Menor dependencia.** Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- **Competencia del aprovechamiento energético de la biomasa con otros usos.** Lo que ocasiona incertidumbres de abastecimiento y oscilación de precios de materias primas. Este aspecto es particularmente crítico para las plantas de generación eléctrica, cuando los proveedores no forman parte del proyecto de explotación.
- **Dificultad de almacenamiento y manejo en planta.** Sea para transformación de la materia prima en otros productos como para consumo directo, necesita espacios grandes y una planificación adecuada para poder automatizar las operaciones.
- **Alejamiento de los sectores implicados.** Sectores agropecuario, energético, industrial de producción de equipos. En la mayor parte de las situaciones sólo

puede llegarse a proyectos viables con una buena coordinación de estos tres sectores.

- **Desconexión de las políticas públicas aplicables a los sectores implicados y de la política fiscal.** Las líneas de ayuda frecuentemente no tienen en consideración la necesidad de integrar varios sectores en una misma iniciativa, para lograr la viabilidad.
- **Desarrollo rural.** La producción de biomasa es totalmente descentralizada, basada en un recurso disperso en el territorio, que puede tener gran incidencia social y económica en el mundo rural y crear puestos de trabajo.
- **Insuficiencia de las acciones de demostración y del apoyo a proyectos con este carácter, en todas las aplicaciones.**
- **Falta de información sobre los recursos y las tecnologías disponibles.**
- **Falta de conciencia.** Falta de conciencia suficiente sobre el interés ambiental y social de la biomasa como fuente de energía y, en consecuencia, falta del esfuerzo necesario para traspasar las diversas barreras. Este factor actúa tanto a escala individual, de colectivos sociales, de la industria, de las grandes compañías (eléctricas y de combustibles) y de la Administración en muchos casos.
- **Poco desarrollo de hábitos de consumo compatibles con la extensión de fuentes renovables de energía y con ahorro energético**
- **Dificultades para poner en aplicación las distintas vías de apoyo previstas.** Dificultades por falta de información, por dispersión o diseño defectuoso de las líneas de apoyo, por dificultad de gestión, por falta de adecuación a las realidades...

Las diversas barreras influyen, mediante mecanismos distintos, en la viabilidad económica de la producción de energía con biomasa y, por tanto, en la posibilidad de que se convierta en un sector significativo de la trama social y económica.

El uso de la biomasa como fuente de energías renovables requiere una base tecnológica, cuyas características dependerán de las posibilidades económicas y el desarrollo socio-cultural. El condicionamiento económico puede ser resuelto por diferentes vías, pero, desde el punto de vista social y cultural, generalmente el empleo de estas fuentes de energía en sociedades desarrolladas según el modelo occidental tradicional, debe demandar cambios importantes en los patrones de vida y consumo.







11 | Energías Renovables:  
Geotérmica y Minihidráulica

## 1. Energía geotérmica

### 1.1. Conceptos generales y principio de funcionamiento

La geotermia es el conjunto de técnicas utilizadas para extraer el calor acumulado en la corteza terrestre. Este calor se produce, principalmente, por la desintegración espontánea, natural y continua de los isótopos radioactivos que existen en muy pequeña proporción en todas las rocas naturales.

La Tierra es casi una esfera, cuyas temperaturas son superiores a 1.000 °C excepto en la corteza, a través de la que se produce un flujo de calor. La generación continua de calor en el centro de la Tierra se debe a los procesos de fisión que se llevan a cabo en el núcleo debido a la existencia de elementos radiactivos como el uranio y el torio. Este calor se conserva fácilmente dada la baja conductividad térmica de las rocas.

La Tierra está formada por cuatro capas, corteza, manto, núcleo exterior y núcleo interior. Conforme aumenta la profundidad de la Tierra, aumenta la temperatura. Las temperaturas y longitudes de cada capa se indican a continuación:

TABLA 1  
Temperaturas y espesores de las capas de la Tierra.

	Espesor (km)	Temperatura (°C)
Núcleo interior	2.400	4.000
Núcleo exterior	2.000	-
Manto	2.900	-
Corteza	6 - 64	15 (- 88 - 58)

Fuente: BESEL S.A.

En el núcleo de la tierra el nivel térmico es muy superior al de la superficie. En él se pueden alcanzar temperaturas de hasta 4.000 °C, que van disminuyendo a medida que se asciende

hacia la superficie. Se denomina gradiente térmico a la variación de la temperatura con la profundidad; el valor medio normal es 3 °C por cada 100 m. La diferencia de temperatura entre el núcleo y la superficie da lugar a un flujo de calor y se transfiere la energía térmica por conducción. Las temperaturas que se alcanzan en el interior de la Tierra justifican el interés por utilizar su energía térmica. Sin embargo, el bajo flujo de calor, debido a la baja conductividad de sus materiales, hace que sea muy difícil su aprovechamiento. Por otra parte, hay zonas donde se producen anomalías geotérmicas que dan lugar a un gradiente de temperatura superior al habitual y constituyen una excepción; estas reciben el nombre de yacimientos geotérmicos (generalmente son zonas volcánicas).

Existen diversos tipos de anomalías geotérmicas en las que el gradiente es 10-15 veces superior. Estas son las siguientes:

- Vulcanismo de Rift**  
 Gradiente entre 8 °C y 15 °C por cada 100 m de profundidad. A este tipo pertenecen los fenómenos de Islandia, Mar Rojo, etc.
- Vulcanismo de subsidencia**  
 Fenómeno que tiene lugar en zonas de choques de placas, sobre todo entre una continental y una oceánica. Un ejemplo es el de la cordillera de los Andes en América del Sur.
- Fracturas profundas**  
 En zonas de actividad tectónica muy intensa las fracturas pueden cortar uno o más acuíferos y actúan como un colector en las descargas de éstos. Es el tipo de manifestación geotérmica más frecuente en España. Ocurre fundamentalmente en las islas Canarias.

Las siguientes son diversas formas de manifestación de un sistema geotermal:

- Géiser**  
 Erupciones de vapor en la superficie, debido a sistemas geotermiales de alta temperatura. Se suelen emplear de forma directa para la generación de energía eléctrica. Un ejemplo es el géiser Old Faithfull en Yellowstone (Estados Unidos).
- Fumarola**  
 Emanaciones de gases y vapor normalmente con alto contenido en azufre.
- Lagos de lodo**  
 Se producen cuando el caudal de las aguas surgentes es bajo, y hay arrastre de partículas arcillosas por lo

que se forman charcas arcillosas con una temperatura similar a las aguas termales o incluso superior cuando se produce burbujeo de gases.

- **Manantiales termales**

Es la forma más habitual, y consiste en la surgencia de aguas subterráneas a una temperatura mayor de la normal. Su aprovechamiento típico es para calefacción, fines terapéuticos y recreativos.

## 1.2. Tipos de yacimientos geotérmicos en función de la temperatura

### 1.2.1. Energía geotérmica de alta temperatura

Se produce en las zonas activas de la corteza. Su temperatura está comprendida entre 150 °C y 400 °C, se produce el vapor en la superficie que al ser enviado a las turbinas, genera electricidad. Se requieren varias condiciones para que exista un campo geotérmico: un techo compuesto de una cobertura de rocas impermeables; un depósito, o acuífero, de permeabilidad elevada, entre 300 m y 2.000 m de profundidad; rocas fracturadas que permitan una circulación convectiva de fluidos y, por lo tanto, la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre tres y diez kilómetros de profundidad a 500 °C - 600 °C. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

### 1.2.2. Energía geotérmica de media temperatura

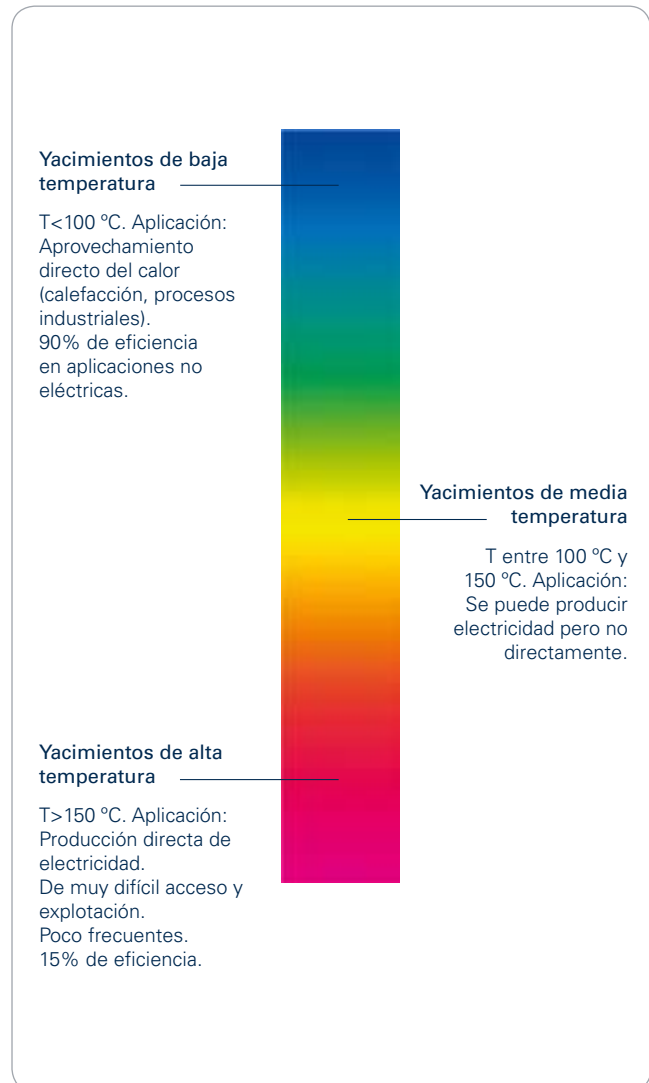
La energía geotérmica de media temperatura es aquella en la que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 100 °C y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza con un menor rendimiento, y debe utilizarse, como intermediario, un fluido volátil. Pequeñas centrales eléctricas pueden explotar estos recursos. La energía geotérmica de media temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias.

### 1.2.3. Energía geotérmica de baja temperatura

Se considera energía geotérmica de baja temperatura a aquella en la que los fluidos están a temperaturas inferiores a 100 °C. Esta energía se utiliza para aprovechamiento directo como necesidades domésticas, urbanas, agrícolas o procesos industriales.

FIGURA 1

Tipos de yacimientos según la temperatura.



Fuente: BESEL S.A.

## 1.3. Tipos de sistemas de obtención de energía geométrica

La extracción de la energía térmica del yacimiento se realiza por medio de un fluido que pueda circular por sus proximidades, calentándose, y que posteriormente pueda alcanzar la superficie donde se aprovechará su energía térmica.

Las posibles aplicaciones de la energía geotérmica van a depender del estado en que se encuentre el fluido, vapor, líquido o mezcla de ambas fases.

Asimismo, según el tipo de yacimiento, el fluido puede formar parte de él de forma natural o ser inyectado desde la superficie artificialmente.

De este modo y teniendo en cuenta las distintas posibilidades de yacimientos, se clasifican los sistemas de obtención de energía geotérmica en tres grupos:

- **Sistemas hidrotérmicos**
- **Sistemas geopresurizados**
- **Sistemas de roca caliente**

#### 1. Sistemas hidrotérmicos

Tienen en su interior el fluido portador del calor (agua procedente de la lluvia o deshielos), y puede encontrarse en estado líquido o gaseoso en función de la temperatura y/o presión del yacimiento.

#### 2. Sistemas geopresurizados

Son similares a los anteriores con la salvedad de que se encuentran a mayor profundidad. En estos sistemas el fluido es agua líquida con una temperatura que ronda entre los 150 °C y 200 °C, con un alto grado de salinidad. Presentan una serie de inconvenientes que dificultan la explotación y el desarrollo de una tecnología apta para su uso, como son: su difícil acceso, el alto grado de minerales disueltos y su bajo nivel térmico. Por otra parte, también ofrece la ventaja de una variedad de energías diferentes de manera simultánea: energía de presión del agua, energía térmica del agua y el gas natural.

#### 3. Sistemas de roca caliente

Están hechos por formaciones rocosas impermeables que tienen una temperatura elevada entre 150 °C y 300 °C sin que exista en su interior ningún fluido que las recorra. Aunque estos sistemas son los más numerosos y tienen un alto potencial térmico, la profundidad a la que se encuentran, y el carácter impermeable de la roca dificultan su aprovechamiento. Se encuentra aún en vías de desarrollo.

## 1.4. Etapas en el desarrollo geotérmico

### 1.4.1. Técnicas geológicas

Los condicionantes geológicos son determinantes a la hora de prospectar energía geotérmica y hay que empezar a estudiar la zona con la metodología de reconocimiento creciente:

- Estudios de teledetección, fotografía satélite y fotografía aérea. Dan la situación de la zona en el marco

general de la tectónica de placas y facilitan la limitación de las grandes directrices de fracturación.

- Estudios de sismicidad, ruido sísmico y neo-tectónica. Para el reconocimiento y cuantificación del movimiento actual de las fallas mediante el estudio de los terremotos locales, del ruido sísmico (microterremotos) y de los materiales cuaternarios deformados.
- Estudio vulcanológico, en caso de existir esta fenomenología. Para la datación absoluta de las erupciones, estudio petrológico y geoquímico de los productos volcánicos, análisis químicos e isotópicos de los gases y cálculo de la temperatura y presión de la cámara magmática.
- Estudio estratigráfico y tectónico. Se realizan para definir los materiales que componen la zona y estudiar su disposición en el tiempo y en el espacio. Además se detectan las fracturas locales que interrumpen esta geometría.
- Estudio hidrogeológico. Proporciona el balance hidráulico de la zona, cálculo de la pluviometría, escorrentía superficial, evapotranspiración e infiltración eficaz. En este estudio se definen los acuíferos principales y su geometría además de calcular la dinámica hidráulica y la productividad potencial.

El conjunto de los estudios anteriores definirá la viabilidad geológica de su explotación además del punto más indicado para realizar el sondeo y la profundidad aproximada.

### 1.4.2. Sondeos de exploración y de explotación

Una vez definido el lugar más adecuado para realizar el sondeo, su profundidad y el tipo de geología que se va a perforar, se define el tipo de maquinaria necesaria para hacer el sondeo de exploración. Este es de diámetro pequeño, y su utilidad consiste en ir recogiendo los datos de los minerales que va atravesando, la variación de la temperatura del terreno, y los datos sobre el caudal y la composición química del agua.

Cuando la perforación ha terminado y se han hecho los ensayos de bombeo y de estudio de las temperaturas y la composición del agua, se condiciona el pozo como piezómetro, instalando una tubería metálica perforada con unas ranuras en la zona productora de agua termal. Los piezómetros son pozos que se emplean para controlar el nivel del acuífero una vez que se utilizan los pozos de explotación.

Después de haber puesto de manifiesto los recursos geotérmicos y conocidos los parámetros principales mediante los sondeos de reconocimiento (temperatura, presión, caudal, calidad química, etc.) se realiza el sondeo de explotación,

mediante una máquina de perforaciones. Si es de poca profundidad, hasta unos 200 m - 300 m, se utiliza una máquina de hacer pozos de agua potable, mientras que para perforaciones de hasta 2.000 m se utilizan torres de perforación petrolífera.

Hay casos en los que la calidad química del agua representa un peligro para el medio ambiente a causa del exceso de salinidad, como pasa en la cuenca de París. Entonces, después de extraer calorías del agua, se tiene que reinyectar esta en el subsuelo, dentro del mismo acuífero, para mantener la presión. Eso obliga a hacer dos pozos de explotación en lugar de uno solo, denominados dobles. Los pozos tienen que estar separados en la parte inferior para no volver a coger el agua enfriada que se acaba de reinyectar. Esta separación tiene que ser de diversos centenares de metros y se pueden hacer verticales separadas a esta distancia o bien hacerlos uno al lado del otro desviándolos a mucha profundidad. La técnica de desviación de pozos proviene de la tecnología petrolífera, y se puede llegar a hacer el ángulo y la situación de la desviación con una precisión muy elevada.

## 1.5. Tecnologías. Estado de arte

En otros casos el agua no representa ningún impacto sobre el medio ambiente, y se puede utilizar directamente para el consumo y después tirarla como agua pluvial.

Existen varios tipos de procesos de conversión de la energía para generar electricidad por medio de recursos hidrotermales. Actualmente, tres de estos procesos se encuentran en operación comercial: vapor seco, sistemas de separación de vapor con predominio de agua líquida y sistemas de ciclo binario.

### 1.5.1. Plantas de vapor seco

Se toma el vapor de las fracturas en el suelo. El vapor saturado o ligeramente sobrecalentado que se obtiene en la superficie se envía directamente a una turbina para mover un generador eléctrico. Los sistemas de vapor dominante han sido explotados únicamente en Indonesia, Italia, Japón y Estados Unidos.

### 1.5.2. Plantas con predominio de agua líquida

En este tipo de yacimientos con predominio de agua líquida, los pozos generalmente producen una mezcla de agua y vapor en la superficie. Esto se debe a que el fluido del yacimiento sufre un proceso de ebullición en el interior del pozo, causado por la caída de presión a lo largo de la tubería. Cuando la mezcla llega a la superficie, el vapor y el líquido se separan por medio de instalaciones adecuadas. El primero

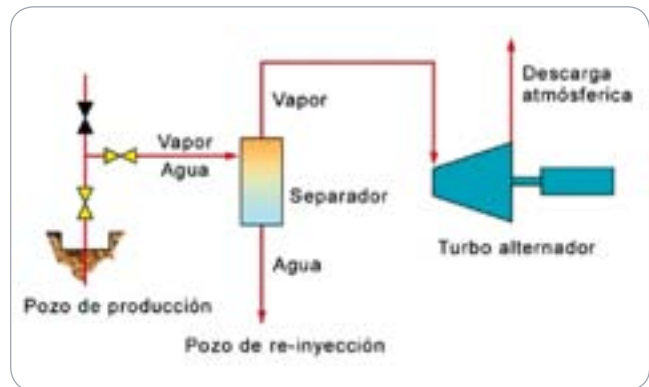
es utilizado para alimentar la turbina, mientras que el líquido se inyecta nuevamente al yacimiento.

### 1.5.3. Plantas con sistema de ciclo binario

Las plantas de ciclo binario son apropiadas para la explotación de los sistemas geotérmicos de líquido dominante que no están lo suficientemente calientes como para producir una importante ebullición del fluido geotérmico, y para utilizar el calor contenido en los fluidos de desecho de las plantas de separación de vapor.

FIGURA 2

Diagrama de una planta de separación de vapor.



Fuente: Asociación Internacional Geotérmica.

En estas plantas, el calor que se obtiene del fluido geotérmico se transmite por medio de un intercambiador de calor a un fluido de trabajo secundario con un menor punto de ebullición (por lo general es un refrigerante). El fluido de trabajo se expande en una turbina, se condensa y se recalcifica en otro ciclo.

Son los que más se han desarrollado en la última década. En ellos la temperatura del agua está comprendida entre 30 °C y 350 °C.

## 1.6. Nueva reglamentación de utilización (CTE y RITE)

El 17 de marzo de 2006 se aprobó el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) y fue publicado el 28 de marzo de 2006. Su entrada en vigor fue inmediata, con un período transitorio de seis meses para su apartado energético, desarrollado en el Documento Básico HE: Ahorro Energético. El 20 de julio del presente año mediante el Real Decreto 1027/2007 se aprobó el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).



Planta Geotérmica de Nesjavellir en Islandia.

El ámbito de aplicación para este nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) es el de los edificios de nueva construcción, así como todos en los que se realicen modificaciones, reformas o rehabilitaciones con una superficie útil superior a 1.000 m<sup>2</sup> donde se renueve más del 25% de sus cerramientos y también la rehabilitación de edificios de cualquier uso, en los que exista una demanda de calefacción, o de agua caliente sanitaria, o de climatización de una piscina cubierta.

Respecto a la calefacción, el nuevo código actualiza conceptos que quedaron obsoletos en las disposiciones en vigor hasta ahora, establecidas en las Normas Tecnológicas de la Edificación, Condiciones Térmicas de los Edificios (NTE-CTE79), y promulgadas en 1979 como respuesta a la primera crisis petrolífera. Concretamente, el apartado energético de la nueva norma (CTE-HE) completa y moderniza los métodos y

unidades de cálculo de la demanda energética de los edificios, homologándolos a los que se usan en el resto de la Unión Europea y hace hincapié en la necesidad del ahorro energético a través de dos parámetros:

- Un diseño eficiente de los edificios, que disminuya la demanda energética.
- Y la utilización de energías renovables, con el fin de reducir el uso de las energías convencionales.

En cuanto al agua caliente sanitaria, el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) establece la obligatoriedad de cubrir unos mínimos de demanda energética para el agua caliente sanitaria (ACS) que varían dependiendo de la zona climática donde se vaya a ubicar la instalación, entre el 30% y el 70%.

El nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) prohíbe el calentamiento de piscinas al aire libre y en general todo espacio que se encuentre a la intemperie mediante fuentes de energía convencionales. Si la piscina es cubierta, una parte de las necesidades energéticas de calentamiento del agua se deberá cubrir mediante fuentes de energía renovable, que deben cumplir en todo caso las exigencias fijadas en la sección HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del CTE.

Las exigencias solares mínimas no siempre son fáciles de cumplir, ya sea por motivos de espacio, constructivos u otros. En este sentido y al ser la energía geotérmica una energía renovable, puede utilizarse como alternativa para cumplir con la normativa.

La energía geotérmica se puede utilizar de manera directa como calefacción ambiente, y para la producción de agua caliente, o bien mediante bombas de calor geotérmicas, que utilizan la energía almacenada en el suelo para calentar y refrigerar edificios.

Debe destacarse que la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) mediante geotermia/aerotermia tiene rendimientos económicos y medioambientales muy superiores a los métodos convencionales (caldera de gasóleo o de gas, calentadores instantáneos de gas, calentadores eléctricos, etc.).

### Consecuencias de la implantación del CTE

- Según el Ministerio de la Vivienda, la implantación de sistemas de Energías Renovables (ER) y otras medidas de reducción del consumo de energía que incluye el CTE supondrán un ahorro energético por edificio de entre el 30% y el 40%, y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de entre el 40% y el 55%.
- Según los expertos, el aumento del costo de las viviendas por la colocación de sistemas ER supondrá entre un 3% y un 1%, lo que resulta perfectamente asumible. El coste será lógicamente más importante en viviendas unifamiliares, mientras que en viviendas colectivas apenas será apreciable.

## 1.7. Aplicaciones

El uso directo del calor es una de las formas más antiguas, versátiles y comunes de la utilización de la energía geotérmica. Las aplicaciones en baños, calefacción ambiental y en distritos, en agricultura, acuicultura y algunos usos industriales constituyen las formas más conocidas de utilización, pero las bombas de calor son las más generalizadas.

En menor escala hay muchos otros tipos de utilización, y algunos de ellos son poco usuales.

### 1.7.1. La energía geotérmica en el ámbito doméstico

La energía geotérmica de baja entalpía basa su principio en la capacidad que tiene la tierra para acumular el calor procedente del sol, manteniendo una temperatura prácticamente constante a lo largo del año a partir de determinada profundidad. Así, a partir de cinco metros de profundidad la temperatura se mantiene más o menos constante en torno a los 15 °C.

Una bomba de calor geotérmica es un sistema que cede y absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado de tuberías de polietileno. Está formada por: una gran masa térmica (suelo) que permite ceder/extraer calor, un conjunto de tuberías enterradas por las que circula agua/anticongelante con intercambiador enterrado y un sistema hidráulico bomba de calor agua/agua sistema interior.

Si bien el coste de la instalación de un sistema de este tipo es elevado, este puede paliarse teniendo en cuenta que los costes de mantenimiento son menores que los de los sistemas tradicionales, además de existir subvenciones para su instalación.

Por el contrario tiene una serie de ventajas que pueden hacer atractiva estas instalaciones, como son:

1. Ahorro energético, al tener un COP (relación entre la energía que proporciona la máquina y la que le aportamos), de 4 respecto al 2,8 de otros sistemas tradicionales en calefacción. Funcionando en régimen de frío esta relación aumenta y es de 4,5 frente al 2,3 de las tradicionales.
2. Esto trae consigo un ahorro económico al gastar menos energía eléctrica.
3. Bioseguridad. Elimina torres de refrigeración y, por tanto, riesgos de legionelosis.

### 1.7.2. La calefacción ambiental y en distritos

Ha tenido un gran desarrollo en Islandia, donde la capacidad total de los sistemas de calefacción en distritos ha aumentado en los últimos años. Esta forma de calefacción está ampliamente distribuida en los países de la Europa oriental, como también en Estados Unidos, China, Japón, Francia, etc. Los sistemas geotermiales de calefacción en distritos requieren grandes inversiones de capital. Los mayores costos corresponden a la inversión inicial, en pozos de producción y de reinyección, en bombas dentro de los

pozos, tuberías y redes de distribución, en equipos de monitoreo y control, en estaciones de peaking y estanques de almacenamiento. Sin embargo, los costos de operación son comparativamente más bajos que en los sistemas convencionales y corresponden a energía para bombeo, a sistemas de mantenimiento, control y gestión. Un factor crucial en el cálculo del costo inicial de un sistema es la densidad de carga termal, o la demanda de calor dividida por el área de terreno del distrito. Una alta densidad de calor determina la factibilidad económica de un proyecto de calefacción en distritos ya que la red de distribución es costosa. Algunos beneficios económicos pueden conseguirse combinando calefacción y enfriamiento en aquellas áreas en las que el clima lo permita.

### 1.7.3. La refrigeración

La refrigeración es una opción factible de utilizar geotermia mediante la adaptación de equipos de absorción. La tecnología de estos equipos es bien conocida y se encuentra a disposición en el mercado. El ciclo de absorción es un proceso que utiliza calor como fuente de energía en vez de electricidad. El efecto de refrigeración se logra mediante la utilización de dos fluidos: un refrigerante, que circula, se evapora y condensa, y un segundo fluido o absorbente. Para aplicaciones sobre 0 °C (principalmente en la refrigeración y procesos de aire acondicionado), el ciclo utiliza bromuro de litio como absorbente y agua como refrigerante. Para aplicaciones bajo 0 °C se emplea un ciclo de amoníaco/agua, con amoníaco como refrigerante y agua como absorbente. Los fluidos geotermiales proporcionan la energía geotérmica que alimenta estos equipos, a pesar de que su eficiencia disminuye con temperaturas menores que 105 °C.

### 1.7.4. El aire acondicionado geotermal (calefacción y enfriamiento)

Ha tenido una considerable expansión desde los años 1980, conjuntamente con la introducción y generalización del uso de bombas de calor. Los diferentes sistemas de bombas de calor disponibles permiten extraer y utilizar económicamente el calor contenido en cuerpos de baja temperatura, tales como suelos, acuíferos someros, lagunas, etc.

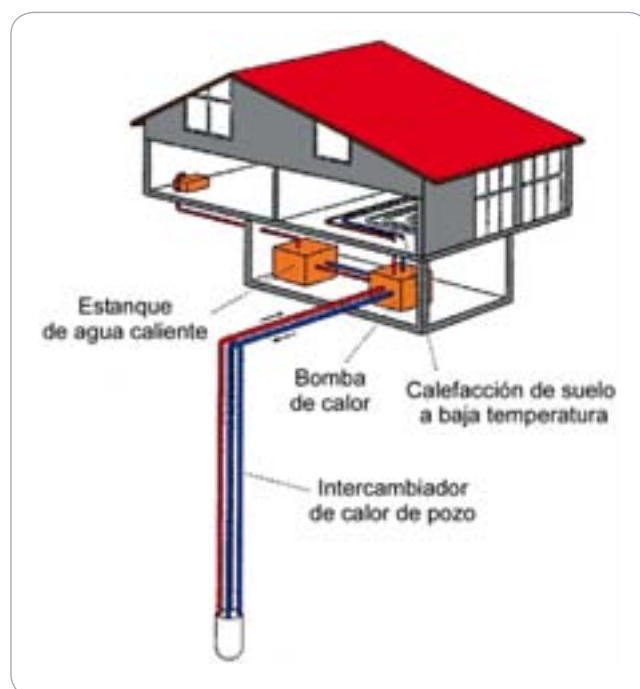
Las bombas de calor son máquinas que mueven el calor en una dirección opuesta a la dirección que tendería naturalmente, esto es, desde un espacio o cuerpo frío a uno de mayor temperatura. Una bomba de calor efectivamente no es más que una unidad de refrigeración. Cualquier artefacto de refrigeración (acondicionador de aire de ventana, refrigerador, congelador, etc.) transmite el calor desde un espacio (para mantenerlo frío) y descarga este calor a otros de mayor temperatura. La única diferencia entre una bomba de calor y

una unidad de refrigeración es el efecto deseado, enfriamiento para la unidad de refrigeración y calefacción para la bomba de calor. Un segundo factor distintivo de muchas bombas de calor es que son reversibles y pueden proporcionar ya sea calor o frío al espacio.

### 1.7.5. Las aplicaciones agrícolas

Las aplicaciones agrícolas de los fluidos geotermiales consisten en calefacción a campo abierto e invernaderos. El agua termal puede ser utilizada en agricultura a campo abierto para regar y/o calentar el suelo. La mayor desventaja en el riego con agua tibia es que para conseguir alguna significativa variación en la temperatura del suelo, se requieren grandes cantidades de agua a temperaturas suficientemente bajas como para no dañar las plantas del campo que se debe regar. Una solución posible a este problema es adoptar un sistema de riego interno conectado a una tubería enterrada de calefacción del suelo. La calefacción del suelo mediante tuberías enterradas sin sistema de regadío podría disminuir la conductividad térmica del suelo, a causa de la disminución de la humedad alrededor de la tubería y el consecuente aislamiento térmico. La mejor solución parece ser aquella que combina la calefacción del suelo con el regadío. La composición química de las aguas termales utilizadas en el regadío debe ser cuidadosamente controlada para evitar efectos adversos sobre las plantas.

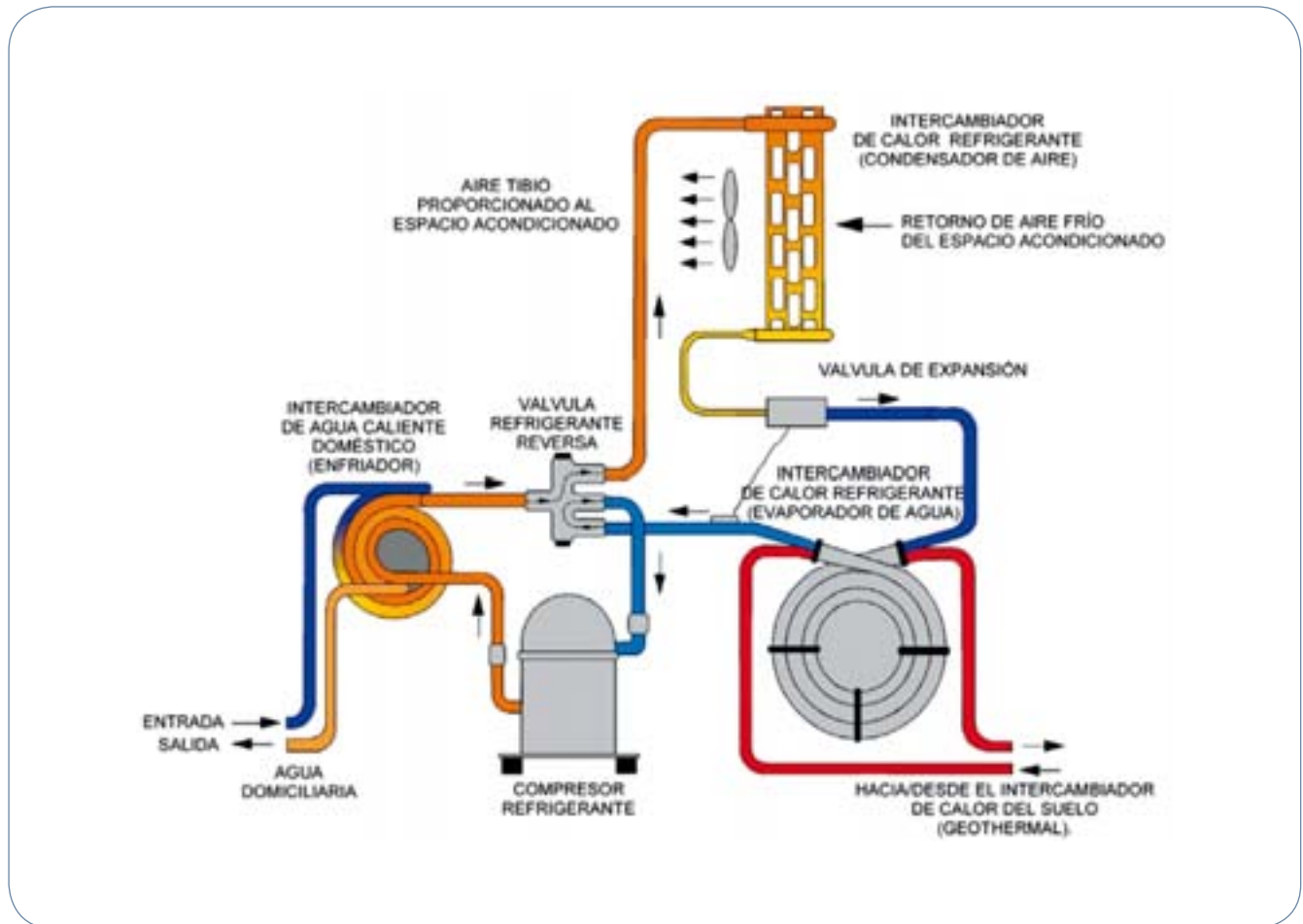
FIGURA 3  
Aplicación típica de sistema de bomba de calor.



Fuente: Geo-Heat Center.



FIGURA 4  
Esquema de una bomba de calor en calefacción.



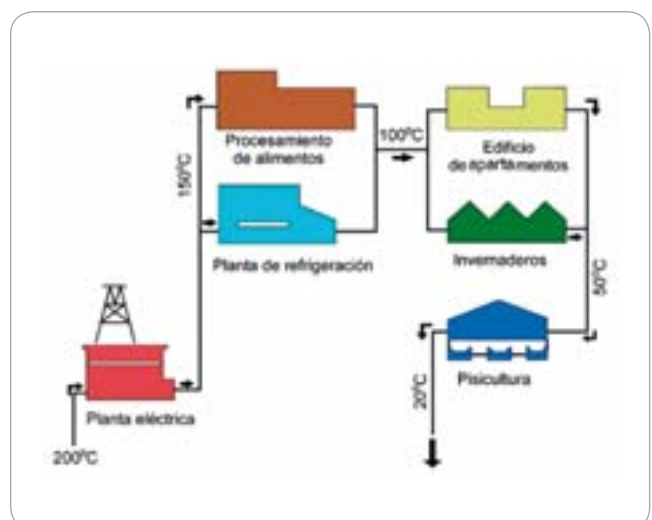
Fuente: Geo-Heat Center.

El empleo más común de la energía geotérmica en agricultura es, sin embargo, en la calefacción de invernaderos, que se han desarrollado en gran escala en muchos países.

### 1.7.6. Aplicaciones industriales

Las diferentes formas posibles de utilización incluyen procesos de calefacción, evaporación, secado, destilación, esterilización, lavado, descongelación y extracción de sales. Los ejemplos incluyen el fraguado de concreto, el envasado de agua y de bebidas carbonatadas, la producción de papel y partes de vehículos, la recuperación de petróleo, la pasteurización de leche, la industria del cuero, la extracción de productos químicos, la extracción de CO<sub>2</sub>, el uso en lavandería, el secado de diatomitas, el procesamiento de celulosa y papel y la producción de borato y ácido bórico. También hay planes para utilizar fluidos geotermiales de baja temperatura para deshelar carreteras y dispersar la neblina en algunos aeropuertos.

FIGURA 5  
Usos en línea de la energía geotérmica.



Fuente: Asociación Internacional Geotérmica.

### 1.7.7. Balnearios

Los únicos aprovechamientos geotérmicos desde la antigüedad hasta el siglo XX han sido los baños termales, tanto en forma de termas romanas como de balnearios en tiempos más modernos. Son lugares dedicados al reposo y la curación a través de la utilización de las aguas termales y minerales.

## 1.8. Impacto ambiental

El desarrollo y la implantación de instalaciones de aprovechamiento de energía geotérmica contribuyen en general a la conservación del medio ambiente y a la mejora de la calidad de vida tanto en las ciudades como en las zonas rurales.

Los principales rasgos positivos desde un punto de vista ambiental son:

- Producir energía a partir de un recurso renovable y, por tanto, evitar el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles;
- No originan ruidos ni humos, no exigen medidas sofisticadas de seguridad y no producen residuos difíciles de eliminar;

No hay generación de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) como sucede en las centrales de producción de energía convencionales, y por tanto contribuyen a alcanzar los objetivos marcados en el Protocolo de Kioto sobre la reducción de emisiones contaminantes.

- Se acercan los centros de producción de energía a los centros consumidores; por tanto se elimina la necesidad de grandes infraestructuras de transmisión (como líneas eléctricas, oleoductos, etc.) con los impactos ambientales que estos conlleva.

No obstante, estos rasgos positivos pueden variar en función de la fase en la que se encuentre el proyecto.

### 1.8.1. Impactos producidos durante la fase de exploración, perforación y construcción

La construcción de caminos de acceso puede ocasionar la destrucción de áreas naturales con levantamientos de cubierta vegetal mientras que su localización en sí misma puede ocasionar disturbios en el ecosistema local, por ejemplo: ruidos, polvos, humos, y también, en algunas zonas, puede causar erosión del suelo.

### 1.8.2. Impactos producidos durante la fase de operación

#### Emisiones Gaseosas

Los gases no condensables, acarreados por el vapor geotérmico, deben ser liberados a la atmósfera (dependiendo del tipo de planta de generación que se utilice). Estos están compuestos principalmente por dióxido de carbono y sulfuros de hidrógeno, con trazas de amoníaco, hidrógeno, nitrógeno, metano, radón y algunas especies volátiles como boro, arsénico y mercurio.

El sulfuro de hidrógeno causa molestias por el olor desagradable que ocasiona, y a altas concentraciones puede llegar a dañar el sistema respiratorio de las personas.

Por su parte, el amoníaco es irritante y el radón es carcinógeno por inhalación, pero las emisiones normalmente son bajas y no causan problemas.

Las emisiones de boro y mercurio son normalmente muy bajas por lo que no constituyen un riesgo para la salud. Igualmente estos metales pueden depositarse en los suelos y si se transportan por escurrimiento desde allí pueden contribuir a la contaminación de las aguas subterráneas y a las superficiales.

#### Contaminación de los cursos de agua superficiales

Los problemas de contaminación pueden provenir de la disposición en la superficie de fluidos geotérmicos, los que contienen un amplio rango de iones (sodio, potasio, calcio, flúor, magnesio, silicatos, iodatos, antimonio, estroncio, bicarbonato, etc.). Los que causan mayor preocupación son los químicos de mayor toxicidad como son: boro, litio, arsénico, sulfuro de hidrógeno, mercurio, rubidio y amoníaco. La mayoría de ellos se diluyen y permanecen en solución en el agua por lo que pueden penetrar en la vegetación acuática y de allí pasar a los peces.

#### Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas

La contaminación de las primeras capas de agua subterránea puede provenir de:

- Líquidos utilizados en la etapa de perforación.
- Infiltraciones por orificios en las paredes del pozo en la etapa de re-inyección, las que hacen que el líquido contaminado se escurra hacia las primeras capas de agua subterránea.
- Fallos en la impermeabilidad de las piletas de evaporación, y sus consecuentes infiltraciones.

Todas estas situaciones problemáticas pueden ser evitadas con diseños de planta apropiados y con monitoreos periódico-

dicos de las capas subterráneas. Es importante trabajar con controles de calidad principalmente en las etapas de perforación y construcción.

### Depresión del acuífero

Los niveles de agua subterránea pueden ser deprimidos bajo ciertas condiciones, principalmente en plantas de aprovechamiento de energía geotérmica que trabajan a altas temperaturas. Estas situaciones pueden ser evitadas controlando y manteniendo la presión de las reservas de agua.

Los niveles de agua también pueden disminuir como consecuencia de rupturas en las paredes de pozos en desuso; esta situación se puede prevenir, monitoreando el estado de estos pozos y reparándolos rápidamente ante cualquier problema.

### Hundimiento o subsidencia del terreno

En los emplazamientos geotérmicos, los fluidos geotérmicos son retirados de los acuíferos a una tasa mayor que la entrada natural de líquido hacia ellos. Esto puede compactar las formaciones rocosas en el lugar y llegar al hundimiento del terreno. Hay muy poco para hacer al respecto, lo único que se puede llevar a cabo para evitar estos efectos es mantener la presión del acuífero.

### Uso del suelo

Las plantas de aprovechamiento de la energía geotérmica deben ser construidas sobre zonas específicas. En caso de que estas zonas también tengan alto valor paisajístico, las estructuras que están sobre tierra pueden causar impacto visual.

La superficie utilizada puede ser menor en el caso de que se utilicen técnicas de perforación direccional.

### Impacto Visual

Las plantas de aprovechamiento de la energía geotérmica suelen pasar casi inadvertidas en el terreno, aunque muchas veces su impacto visual es significativo debido a que los sitios de alto valor geotérmico se suelen superponer en el espacio con sitios de gran valor natural y paisajístico.

### Potenciales sucesos catastróficos

Los principales sucesos catastróficos que pueden ocurrir en una planta de aprovechamiento de la energía geotérmica son:

- En zonas con alta actividad tectónica, la re-inyección de fluidos en el terreno durante la explotación de las reservas puede aumentar la frecuencia de pequeños terremotos en la zona. Estos efectos pueden ser minimizados reduciendo las presiones de reinyección al mínimo y asegurando que los posibles edifi-

cios afectados por los movimientos sísmicos estén preparados para soportar la intensidad de estos terremotos. La actividad sísmica de mayor intensidad (superior a 6 en la escala Richter) podría causar filtraciones de fluidos a algunas partes indeseadas del sistema.

- La voladura o explosión de los pozos eran sucesos comunes en las primeras épocas de la perforación a mucha profundidad, pero en la actualidad es muy extraño que alguno de estos sucesos ocurra. Su frecuencia puede aún ser minimizada a través del uso de equipos de prevención de voladuras y utilizando correctos procedimientos de perforación.
- Las erupciones hidrotermales son extrañas y ocurren cuando la presión de vapor en los acuíferos se intensifica y eyecta hacia arriba la tierra que lo cubre, y crea un cráter. Mantener la presión en las reservas puede ayudar a reducir la frecuencia de la ocurrencia de erupciones; también se deben evitar las excavaciones en terrenos con actividad termal.
- Muchos de los emplazamientos de aprovechamiento de la energía geotérmica se encuentran en terrenos accidentados y es por eso por lo que son más susceptibles que un terreno llano a deslizamientos del suelo. Esto puede ocasionar graves accidentes si las rocas que caen dañan las cabezas de los pozos o las tuberías, lo que podría resultar en el escape de vapores y líquidos a alta temperatura. La posibilidad de ocurrencia puede ser minimizada estabilizando todas las pendientes susceptibles de sufrir deslizamientos de tierra, aunque esto podría aumentar el impacto visual del emplazamiento.

A modo de resumen, la probabilidad y gravedad del impacto potencial sobre el medio ambiente se detalla en la tabla 2.

## 1.9. Impacto socio-económico

Un proyecto geotérmico se caracteriza por su elevada inversión inicial. La utilización directa del calor, con tecnologías actuales requiere generalmente buscar el recurso a más de 1.500 m de profundidad, lo que requiere la realización de sondeos profundos y costosos.

Sin embargo, los costes de explotación son reducidos: electricidad para el bombeo, mano de obra para mantenimiento, recambios para instalaciones. Normalmente estos están sobre los 0,6 c€/kWh - 0,7 c€/kWh. Estas plantas trabajan las 24 h al día durante todo el año, salvo 15 días que se paran para los trabajos de mantenimiento.



Los emplazamientos de aprovechamiento de la energía geotérmica se encuentran en terrenos accidentados.

TABLA 2  
Probabilidad y gravedad del impacto sobre el medio ambiente.

Impacto	Probabilidad	Gravedad de las consecuencias
Contaminación del aire	B	M
Contaminación de agua superficial	M	M
Contaminación del subsuelo	B	M
Subsidencia de terreno	B	B / M
Altos niveles de ruido	A	B / M
Reventones de pozos	B	B / M
Conflictos con aspectos culturales y arqueológicos	B / M	M / A
Problemas socio-económicos	B	B
Contaminación química o térmica	B	M / A
Emisión de residuos sólidos	M	M / A

B: bajo, M: medio, A: alto

Fuente: BESEL S.A.

La demanda media de potencia eléctrica de una persona es de 0,2 kW en las áreas menos desarrolladas y 1 kW en las más desarrolladas. Por tanto, una planta de 100 kW puede abastecer entre 100 y 500 personas.

En las plantas geotérmicas convencionales el costo de inversión por kilovatio instalado es sensible a lo que se conoce generalmente como el efecto de escala, es decir, que una planta más grande tenderá a costar menos por kilovatio que una pequeña de tipo similar.

Esta ventaja a favor de la planta más grande se debe en parte a la distribución del sobrecoste administrativo entre un mayor número de kilovatios, en parte a otras economías generales de la manufactura en gran escala, y finalmente al hecho de que las plantas más grandes pueden utilizar presiones y temperaturas más altas, que redundan en una mayor eficiencia, y en el acomodo de un mayor número de etapas en la turbina sobre un solo eje.

Las dos razones fundamentales de estos efectos de escala en las centrales geotérmicas son los siguientes:

1. Los costos de perforación son más o menos directamente proporcionales a la capacidad de la planta instalada.
2. Los costos de los turbogeneradores están más o menos sujetos al efecto de escala, en parte porque hay una selección más limitada del tamaño máximo de la unidad para la planta y en parte porque las temperaturas y presiones de admisión son por lo general modestas, ya que se ven influenciadas por otros aspectos además del tamaño de la planta.

Se puede decir que un proyecto geotérmico, se traduce rápidamente en economía sustancial en relación con las soluciones clásicas que utilizan combustible fósil.

## 2. Minihidráulica

### 2.1. Conceptos generales y principio de funcionamiento

La fuente energética de la energía hidráulica es, en último término, la energía solar, ya que ésta es la que regula el ciclo hidrológico. A pesar de que el agua es un recurso renovable, debido a su continuidad y a su carácter supuestamente inagotable, sólo son consideradas como energía renovable las centrales hidroeléctricas de menos de 10 MW de potencia y que tengan una presa (en caso de tenerla) de menos de

15 m de altura, debido al gran impacto medioambiental que producen las de mayor potencia.

Las centrales hidroeléctricas con una potencia instalada de menos de 10 MW son conocidas como centrales minihidráulicas. Estas centrales sí son consideradas renovables gracias a que los sistemas de distribución y de gestión son muy diferentes de los empleados en las centrales de elevada potencia, por lo que se disminuye el impacto medioambiental. Dentro de las minicentrales, se encuentra otra categoría: las microcentrales que son aquellas de menos de 100 kW de potencia.

Las centrales minihidráulicas son un buen negocio, ya que durante los 25 años de vida media que tienen, cerca del 20% de las inversiones previstas para la construcción de nuevas centrales minihidráulicas contarán con subvenciones y ayudas del Gobierno.

En una central se puede llegar a contratar a 19 personas aproximadamente durante la etapa de construcción. Después, para el mantenimiento de la instalación y su operación, se prevé que se contratarían a 1,4 personas/año.

#### 2.1.1. Historia Presente

Las centrales de minihidráulica tuvieron su cénit a principios del siglo XX cuando se construyeron numerosas centrales de este tipo para poder así abastecer pueblos y a industrias aisladas. A finales de dicho siglo, muchas de estas centrales fueron sustituidas por centrales hidroeléctricas de mayor potencia. En cambio ahora se vuelve a tender a instalar minihidráulicas ya que ha quedado demostrado que el impacto ambiental es muy pequeño respecto a los grandes beneficios sociales que producen.

En los años sesenta, las minicentrales empezaron a declinar; en 1964 todavía había 1.700 en servicio pero el número siguió reduciéndose hasta las 600 que operaban en 1984. Desde ese momento comienzan a valorarse de nuevo los recursos autóctonos y renovables. Pero, a pesar de que la madurez ha permitido afinar al máximo la tecnología de la minihidráulica, apenas consigue remontarse a su pasado glorioso. En el debate que pretende analizar los impactos ambientales de las distintas fuentes de energía, la minihidráulica está saliendo mal parada. Prueba de ello es que el año pasado sólo 17 pequeñas centrales nuevas entraron en funcionamiento, con una potencia conjunta de 39,2 MW.

Según datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el número total de estas plantas en España se eleva hoy a 1.119, que suman 1.787,7 MW de potencia instalada. En el año 2000, estas centrales produjeron 5.028 GWh, un poco más que los parques eólicos, a pesar de que la potencia eólica era algo superior, hasta 2.270 MW.

Por comunidades autónomas, el mayor número de instalaciones se encuentran en Cataluña, seguida de Castilla y León, aunque ésta última región tiene mayor potencia instalada.

De este modo, se puede decir de la energía hidráulica en España que:

- Tras Italia y Francia, España es el tercer país europeo en cuanto a cantidad de energía producida en centrales minihidráulicas, con una potencia instalada de 1.748 MW a finales del año 2004. Grecia, Polonia, Irlanda y Portugal son los países con mayor crecimiento anual.
- Sin embargo, si se tienen en cuenta solo las centrales con una potencia mayor de 10 MW, España ocupa la cuarta posición, tras Francia, Suecia e Italia.
- En el área minihidráulica, Castilla y León, Cataluña, Galicia, Andalucía y Aragón son las comunidades autónomas más productivas. Juntas, alcanzan cerca de 2/3 de la producción nacional.
- Entre 1999 y 2004, la media de crecimiento anual de potencia instalada fue de unos 40 MW para el área minihidráulica. No obstante, queda aún lejos el objetivo previsto por el Plan de Energías Renovables (2005-2010) para 2010, que planificó un crecimiento de 720 MW para esa fecha. Por ello, el plan prevé incrementos de entre 70 MW y 80 MW anuales durante los próximos ejercicios.
- Las cuencas del norte (10.600 MW), Ebro (7.600 MW), Duero (6.700 MW) y Tajo (3.900 MW) son las que poseen el potencial hidroeléctrico más elevado.

TABLA 3  
Barreras y medidas propuestas por El Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Barreras		Medidas
Incertidumbre sobre el potencial hidroeléctrico pendiente de desarrollar.		Definición, evaluación y cuantificación del potencial hidroeléctrico pendiente de desarrollar, viable técnica y medioambientalmente.
Existencia de infraestructuras públicas sin aprovechamiento hidroeléctrico.		Fomento de concursos públicos en infraestructuras del Estado. <span style="float: right;">Aprovechamiento hidrológico de los caudales ecológicos sin aprovechar.</span>
Centrales hidroeléctricas paradas y abandonadas.		Regularización de oficio de situación de dominios de concesiones (expediente de caducidad).
Lentitud otorgamiento autorizaciones CCAA.	Falta visión global entre distintos organismos.	Armonización de procedimientos administrativos en las CCAA.
Problemas con ayuntamientos y administraciones locales para otorgamiento autorizaciones.		Regulación de acuerdos económicos con administraciones locales.
Oposición de grupos ecologistas locales por desconocimiento de ventajas medioambientales.		Campañas de imagen e información para la opinión pública.
Abandono medioambiental de medidas correctoras.		Establecimiento de programas de vigilancia ambiental.
Falta de criterios específicos en medidas correctoras y aspectos medioambientales.		Desarrollo de la normativa técnica medidas correctoras de centrales hidroeléctricas.
Importantes demoras en la resolución sobre la Declaración de impacto ambiental de nuevos proyectos o ampliaciones.		Armonización de criterios medio ambientales para la ejecución de proyectos.
Normativa de conexión, acceso a la red y condiciones de operación obsoleta.		Nuevo Real Decreto sobre acceso a la red y en condiciones de operación.
Penalizaciones por desvíos en la venta al distribuidor a tarifaregulada.		Modificación del Real Decreto 436/2004 eliminando desvíos para instalaciones acogidas a tarifa regulada.

El Plan de Energías Renovables 2005-2010, indica las principales barreras y propone medidas correctoras para aumentar la potencia instalada dentro del sector hidráulico. (ver tabla 3)

### 2.1.2. Características de la energía minihidráulica

Las principales características de esta fuente de energía son las siguientes:

- **Disponibilidad:** el ciclo del agua lo convierte en un recurso inagotable.
- **Energía limpia:** No emite gases de efecto invernadero, ni origina lluvia ácida, ni produce emisiones tóxicas.
- **Energía barata:** sus costes de explotación son bajos, y su mejora tecnológica hace que se aprovechen de manera eficiente los recursos hidráulicos disponibles.
- **Trabaja a temperatura ambiente:** no son necesarios sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía y, en muchos casos, contaminan.
- El almacenamiento de agua permite el suministro para regadíos o la realización de actividades de recreo.
- La regulación del caudal controla el riesgo de inundaciones.
- Su construcción y puesta en marcha requiere inversiones importantes. Además, los emplazamientos en los que se pueden construir centrales hidroeléctricas en buenas condiciones económicas son limitados.
- Las presas se convierten en obstáculos insalvables para especies como los salmones, que tienen que remontar los ríos para desovar. Por su parte, los embalses afectan a los cauces, causan erosión, e inciden, en general, sobre el ecosistema del lugar.
- **Empobrecimiento del agua:** el agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes, y demás propiedades del agua que fluye por el río. Los sedimentos se acumulan en el embalse, por lo que el resto del río hasta la desembocadura acaba empobreciéndose de nutrientes. Asimismo, puede dejar sin caudal mínimo el tramo final de los ríos, especialmente en épocas secas.

- Los emplazamientos hidráulicos suelen estar lejos de las grandes poblaciones, por lo que es necesario transportar la energía eléctrica producida a través de costosas redes.

### 2.1.3. Principios de funcionamiento y clasificaciones

Una central hidroeléctrica es una instalación que se centra en la conversión de la energía cinética y potencial del agua, en energía eléctrica. La energía del agua se convierte en eléctrica mediante turbinas que se mueven debido a la masa del agua que pasa por su interior. De este modo, gracias a los álabes la turbina recoge la energía del agua y la transmite como potencia mecánica mediante un eje a un generador de electricidad.

Los tipos de centrales minihidráulicas se clasifican sobre la base de diferentes criterios, de potencia o de funcionamiento.

#### Clasificación por Potencia:

El producto del caudal de agua por la diferencia de altura que salva el agua define la potencia de una instalación. De este modo, las centrales se pueden clasificar en:

- **Pico centrales:** potencias inferiores a 5 kW.
- **Micro centrales:** potencias inferiores a 100 kW.
- **Mini centrales:** potencias inferiores a 1.000 kW.
- **Pequeñas centrales:** potencias inferiores a 10.000 kW.

#### Clasificación por tipo de flujo:

##### • Centrales de flujo regulado

Son aquellas en las que se puede regular el agua a través de un depósito (o embalse) capaz de regular el caudal superior a un día. Es decir, tienen la capacidad de turbinar en el momento del día en que sea más necesario u oportuno sin que existan pérdidas de agua. Esta capacidad suele ser aprovechada para entregar energía en los momentos de mayor demanda energética y así regular dentro de lo posible el coste de la energía.

Existen varias configuraciones dentro de las centrales de flujo regulado. La más corriente es la de pie de presa, en la que la central se encuentra, como su propio nombre indica, a pie del embalse donde se realiza la producción de energía.

En España hay varios ejemplos de minicentrales con configuración de a pie de presa, una de ellas es la mini-



**Central de Flujo Regulado.**

Fuente: [www.sxc.hu](http://www.sxc.hu)

central hidroeléctrica de Los Hurones que está equipada con dos turbinas Francis de eje horizontal de 900 kVA y una de eje vertical de 3.591 kVA. En este gráfico se puede observar el esquema de una central de flujo regulado (a Pie de Presa).

Otras no se encuentran situadas a pie de presa, sino que se encuentran situadas unos metros más allá de la presa y el agua es dirigida hacia esta mediante un canal. Y una vez allí se turbinan generando la energía que sea necesaria.

Un ejemplo de una presa alejada del curso del río, sería la central de Bisecas II, que funciona como una central de riego, ya que sólo funciona en dichas temporadas.

Dentro de las centrales de flujo regulado existe un tipo de centrales que hay que señalar, que son las centrales de bombeo o centrales reversibles. Estas centrales además de disponer de una o varias turbinas, disponen de una o varias bombas, de tal modo que pueden generar electricidad o bombear aguas arriba del embalse. Este tipo de centrales se caracterizan por tener dos embalses, uno aguas abajo y otro aguas arriba. Esto permite que

cuando existe una gran demanda energética funcionen con centrales hidroeléctricas normales, y en periodos de poco consumo eléctrico, bombean agua arriba para poder asegurar el suministro eléctrico cuando la demanda lo requiera.

Finalmente, podemos indicar a la central de La Seo de Urgell como uno de los ejemplos más característicos de centrales reversibles que lleva instalada una turbina Flyght que es capaz de trabajar como turbina o como bomba.

- **Centrales de agua fluyente**

Las centrales de agua fluyente son mucho más usadas para las minihidráulicas ya que así el impacto ambiental es mucho menor. El problema es que al no tener un depósito de regulación, su eficiencia se ve afectada ya que en cuanto la planta se para, toda el agua que pasa se pierde y es energéticamente ineficiente.

Para mejorar la eficiencia de estas centrales y para solventar la falta de presas, lo que se suele utilizar son los azudes, pequeñas presas que se emplean para elevar el caudal de los ríos y así derivar parte de él. A su vez, las centrales de agua fluyente pueden ser de dos tipos:



**- Central ubicada directamente en el azud**

Se instalan en el mismo azud, que eleva el nivel del río sin detraer ninguna cantidad de agua del cauce, por lo que no marginan de agua ninguna zona. Además en ningún momento el caudal supera el máximo permitido por la turbina ya que en ese caso el agua desbordaría el azud descargando de agua la entrada de la turbina.

**- Central con canal de derivación**

En estas centrales el agua se toma de un canal de derivación que proviene del río, que también dispone de un azud para subir el nivel. Dicho azud tiene que evitar que las zonas de aguas abajo no queden con un mínimo de agua. Además en cuanto el caudal sobrepase el máximo que es capaz de soportar la turbina, el agua supera el azud y continúa su curso natural. La ventaja que ofrece esta configuración es el aumento del salto del agua y por tanto de la energía que se puede aprovechar.

metros hasta varios cientos. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más usado en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas.

La ventaja de esta máquina consiste en el aprovechamiento de todo el salto disponible, hasta el canal de desagüe. La construcción es compleja, y el alto régimen de funcionamiento causa una mayor fricción y, por tanto, desgaste de la máquina. Además sufre algunos problemas de estanqueidad que dificultan su uso en centrales de minihidráulica, aunque no la impiden.

Las turbinas Kaplan son turbinas de agua de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice de un barco.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables.

**2.2. Tecnologías. Estado del arte**

Para la producción de energía en una central hidroeléctrica, la máquina fundamental es la turbina ya que esta se encarga de transformar la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica para mover el eje del generador. Actualmente existen diferentes turbinas que se adaptan a las distintas necesidades de los recursos hidroeléctricos. Se pueden dividir en dos tipos:

**2.2.1. De reacción**

Se consideran como turbinas de reacción, aquellas en las que cada una de las láminas de fluido que se forman, después de pasar el agua a través de las palas fijas y directrices, no se proyectan hacia los álabes del rodete de manera frontal, sino que, mas bien, se trata de un deslizamiento sobre ellos, de tal modo que el sentido de giro del rodete no coincide con la dirección de entrada y salida del agua.

El agua, en su recorrido entre los álabes del rodete cambia de dirección, velocidad y presión. Todo ello causa una reacción en el rodete, lo que da origen a la potencia producida en la turbina, cuyo valor, paradójicamente está en función de la carga perdida por el líquido en su desplazamiento. Como ejemplos de turbinas de reacción, están las Francis y Kaplan.

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbina de reacción de flujo interno que combina conceptos tanto de flujo radial como de flujo axial.

Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, y son capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez



**Turbinas verticales en una central hidroeléctrica.**

Fuente: [www.sxc.hu](http://www.sxc.hu)

Si ambos son regulables, se dice que la turbina es una turbina Kaplan verdadera; si solo son regulables los álabes del rodete, se dice que la turbina es una turbina semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan son de admisión radial mientras que las semi-Kaplan puede ser de admisión radial o axial.

Para su regulación, los álabes del rodete giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas, que son solidarias de unas bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.

En los casos en que el agua sólo circule en dirección axial por los elementos del rodete, tendremos las turbinas de hélice o Kaplan. Las turbinas Kaplan tienen álabes móviles para adecuarse al estado de la carga.

Estas turbinas aseguran un buen rendimiento aun con bajas velocidades de rotación.

Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los alabes del rodete como los del distribuidor son fijos, por lo que solo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes.

### 2.2.2. Acción

Se entienden como tales las turbinas en las que el sentido de la proyección del chorro de agua y el sentido de giro del rodete coinciden en el punto de empuje o choque del agua sobre los álabes de este.

En el rodete, la velocidad de salida del agua es prácticamente igual a la de entrada, por lo que, al no ser apreciables las pérdidas de carga, la potencia transmitida a éste es función exclusivamente de la energía potencial o, lo que es lo mismo, del salto existente. Por consiguiente, se deduce que la energía cinética, originada por el desplazamiento del agua, es cedida íntegramente al rodete. A esta clase de turbinas pertenecen las Pelton.

Las turbinas Pelton funcionan de tal modo que la tobera lanza el chorro de agua contra unas paletas en forma de doble cuchara, para mantener equilibradas las fuerzas en la rueda, que están uniformemente montadas en su periferia. Cada paleta se encarga de tomar la energía cinética del agua incidente y transmitirla a la rueda, que hace girar a la turbina.

Muy parecida a las turbinas utilizadas en las centrales más grandes, la turbina Pelton puede ser de eje vertical o eje horizontal, y debido a su bajo régimen de funcionamiento, suele ser utilizada en saltos grandes y de presiones elevadas. Las turbinas Pelton son de fácil y sólida construcción, ocupan

poco espacio, tienen un rendimiento bastante elevado, no generan problemas de estanqueidad y pueden llegar a tener hasta seis chorros de agua.

### 2.3. Nueva reglamentación de retribución

Existen dos opciones para vender la energía eléctrica producida: una es a través de una tarifa regulada y la otra participando en el mercado de producción eléctrica. Ambas formas de venta se benefician de diferentes complementos que son:

**Discriminación Horaria (DH):** la minihidráulica se puede beneficiar de esta forma de pago en la que la tarifa regulada se calcularía como el producto de la tarifa que le corresponda por antigüedad y rango de potencia multiplicada por 1,0462 (es decir un incremento del 4,62%) en los periodos de punta, y por 0,9670 (una reducción del 3,3%) en los periodos de valle. Dichos horarios se rigen según el horario de invierno y de verano, así:

**Complemento por Energía Reactiva (CR):** Independientemente del modo de venta elegido, se percibirá un complemento por energía reactiva si se mantiene ciertos factores de potencia (fdp). Este complemento es un porcentaje en función del factor de potencia con el que se entregue la energía del valor 7,8441 c€/kWh (valor que se revisa anualmente).

Estos son los porcentajes de bonificación o penalización según el factor de potencia y el periodo horario: (tabla 5)

**Garantía de Potencia (GP):** La retribución aproximada es de 2 €/MW de potencia instalada y por cada hora. Se retribuye a toda la potencia neta instalada en todas las horas del año. Sólo es de aplicación a las instalaciones que vendan su electricidad en el mercado.

TABLA 4  
Horarios de Verano y de Invierno de horas punta y valle.

Invierno		Verano	
Punta	Valle	Punta	Valle
11 h - 21 h	21 h - 24 h y 0 h - 12 h	12 h - 22 h	22 h - 24 h y 0 h - 12 h

Fuente: RD-661/2007.

**Desvíos (DES):** Los desvíos son las diferencias entre la energía que se programa vender y la que realmente se entrega a la red. De este modo, a las instalaciones que hayan

elegido la opción de venta por tarifa regulada, se les repercute el coste de desvío fijado en el mercado organizado por cada período de programación. El coste del desvío en cada hora, se repercute sobre la diferencia, en valor absoluto, entre la producción real y la previsión.

La venta mediante el modo de tarifa regulada consiste en la cesión de la electricidad a la red eléctrica por lo que se percibe una cantidad fija (tarifa regulada), única para todos los periodos de programación.

### 2.3.1. Tarifa regulada

La tarifa regulada viene fijada en función de la categoría, grupo y subgrupo al que pertenece la instalación, así como de su potencia instalada y de la fecha de puesta en servicio.

A pesar de elegir esta opción de venta, el titular de la instalación se puede seguir beneficiando de ciertos complementos de tal forma que el precio quedaría fijado por:

**Tarifa regulada única:**  $PFT = (Ptr) \cdot DH + CR - Des$

Donde DH = 1 en caso de que no se utilice este complemento.

DH = 1,0462 en caso de que se utilice en horas punta.

DH = 0,967 en caso de que se utilice en horas valle.

En el mercado de producción eléctrica, el precio de venta de la electricidad es el precio resultante del mercado o el negociado libremente por el titular o el representante de la instalación complementado por la prima referente a la mini-hidráulica.

TABLA 5  
Porcentajes de bonificación y penalización por factor de potencia.

Tipo de factor de potencia	Factor de potencia	Bonificación o penalización (%)		
		Punta	Llano	Valle
Inductivo	$F_p < 0,95$	-4	-4	8
	$0,96 > F_p - 0,95$	-3	0	6
	$0,97 > F_p - 0,96$	-2	0	4
	$0,98 > F_p - 0,97$	-1	0	2
	$1,00 > F_p - 0,98$	0	2	0
	$F_p = 1,00$	0	4	0
Capacitivo	$1,00 > F_p - 0,98$	0	2	0
	$0,98 > F_p - 0,97$	2	0	-1
	$0,97 > F_p - 0,96$	4	0	-2
	$0,96 > F_p - 0,95$	6	0	-3
	$F_p < 0,95$	8	-4	-4

Fuente: RD-661/2007.

\* La cuantía de la tarifa regulada en este caso es:  $T_{reg} = 6,60 + 1,20 \times [(50-P) / 40]$ .

\*\* La cuantía de la tarifa regulada en este caso es:  $T_{reg} = 5,94 + 1,080 \times [(50-P) / 40]$  Donde P es la Potencia de instalación.

### 2.3.2. Mercado de producción eléctrica

**Prima (P):** Para poder obtener la prima, se tiene que vender la electricidad producida en el mercado. Así, la prima consiste en una cantidad adicional al precio que resulte en el mercado organizado o el precio libremente negociado por el titular o el representante de la instalación.

Para las centrales de minihidráulica, se establecen unas primas de referencia y unos límites tanto superior como inferior para el valor de la suma resultante del precio de mercado y la prima de referencia.

La prima de real que se puede percibir por el generador varía según varía la suma del precio de mercado y la prima en sí. Así, se pueden dar cuatro casos que se resumen en:

1. Para valores del precio del mercado de referencia más la prima de referencia comprendidos entre el límite superior e inferior establecidos para un determinado grupo y subgrupo, el valor que se percibirá será la prima de referencia para ese grupo o subgrupo, en esa hora.
2. Para valores del precio del mercado de referencia más la prima de referencia, inferiores o iguales al límite inferior, el valor de la prima a percibir será la diferencia entre el límite inferior y el precio horario del mercado diario en esa hora.
3. Para valores del precio del mercado de referencia comprendidos entre el límite superior menos la prima de referencia y el límite superior, el valor de la prima será la diferencia entre el límite superior y el precio del mercado de referencia en esa hora.
4. Para valores del precio del mercado de referencia superiores o iguales al límite superior, el valor de la prima será cero en esa hora.

De tal forma que la tarifa de venta para una central minihidráulica que vende su energía en el mercado de electricidad, sería:

$$\text{Mercado: PFM} = \text{PMD} + \text{P} + \text{GP} + \text{CR} - \text{DES}$$

Así las tarifas reguladas, primas y límites que quedan reflejadas en el RD-661 aprobado en el 2007 para la minihidráulica, son:

“Artículo 40. Tarifas y primas para instalaciones de la categoría b, grupos b.4 y b.5: energía hidroeléctrica. Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 36 anterior, para las instalaciones de los grupos b.4 y b.5 y de lo dispuesto en el artículo 44, a los efectos de lo establecido en los artículos 17.c) y 22,

se establece como objetivo de potencia instalada de referencia para la tecnología hidroeléctrica de potencia menor igual a 10 MW, 2.400 MW.” Fuente: RD-661/2007.

## 2.4. Aplicaciones

Las centrales de microhidráulica sólo necesitan un consumo energético que satisfacer y un curso de agua del que obtener la energía, que al menos tenga un salto de unos pocos metros.

Los lugares en los que las centrales de poca potencia dan un mayor valor añadido son aquellas zonas montañosas que se encuentran aisladas de la red eléctrica. Así, normalmente se construyen mini centrales en cursos de agua de origen torrencial o permanente para el suministro de pequeñas comunidades locales, pequeñas industrias u hoteles aislados.

Otro sector en el que cada vez se utiliza más este tipo de instalaciones es en el llamado de recuperación energética. En los sistemas en los que se dispersa parte del agua en la salida para así poder regular el caudal, se puede instalar en el cauce una turbina para recuperar energía. Los sistemas hídricos en los que se puede realizar esta opción, son:

- Acueductos de agua potable, industrial, de riego, etc.
- Canales de riego.
- Canales de reflujo para desbordamientos de caudal.



Minicentral de Anllo en Pontevedra.

Fuente: EUFER.

Cuando hacen falta solo algunos kilovatios para alimentar una nevera, una radio o la iluminación de un refugio o de una cabaña alpina, se pueden insertar directamente en el cauce de un pequeño curso de agua una turbina y un alternador estancos, con el cable de la energía eléctrica que llega directamente al refugio o a la cabaña.

Desde el punto de vista económico, la instalación de este tipo de centrales es conveniente cuando los saltos de agua y los caudales son significativos.

Además también se utilizan estas instalaciones de tal forma que mediante una bomba accionada por el generador (trabajando en régimen motor), se bombea aguas arriba cuando el precio de la electricidad es bajo (noches), para así garantizar un mínimo de suministro para la siguiente punta de consumo.

Otra posible alternativa es el uso de sistemas híbridos (sistema de dos o más formas de generación energética), que aseguran un funcionamiento continuo siempre y cuando tengan al apoyo de una fuente de energía convencional. Normalmente están constituidos por una fuente de energía convencional y una alternativa, pero también se pueden usar dos fuentes alternativas. Estas instalaciones son complementadas con unas baterías de almacenaje y unos rectificadores de potencia para obtener una señal de mayor calidad que se adapta a los estándares.

Estos sistemas complementan sus beneficios y pueden sustituir a los generadores diésel que se solían utilizar en áreas aisladas sin puntos de conexión a la red cercanos. De este modo se puede mejorar la eficiencia de generación en estas situaciones ya que permite una mayor vida de ésta, aparte de una reducción considerable de los costes de mantenimiento y una mejor explotación de los recursos energéticos disponibles.

En estas instalaciones, la aportación de los motores diesel es más representativa que necesaria, pues realizan una labor auxiliar ya que las energías renovables pueden llegar a aportar del 80% - 90% de la energía necesaria.

La energía minihidráulica depende de las condiciones climáticas por lo que su aplicación puede resultar inviable en determinados lugares en los que los recursos hídricos son escasos o en períodos de sequía.

A pesar de las claras ventajas medioambientales de este tipo de instalaciones, es necesario que exista una clara voluntad política para el fomento de este tipo de energía ya que, sobre todo en el caso de las centrales de menor tamaño, el esfuerzo de inversión no es proporcional a la rentabilidad obtenida. La iniciativa pública es fundamental en estos casos, puesto que hay que considerar, además, que muchas de estas infraes-

tructuras son propiedad parcial o total del estado y su puesta en marcha se realiza mediante concesiones administrativas por concurso público.

## 2.5. Impacto ambiental y socio-económico

La energía minihidráulica es una energía no contaminante que no necesita para su producción ninguna combustión ni generación de residuos. Su transformación del entorno es reducida ya que aprovecha los desniveles ya existentes en los flujos de agua, aunque no se debe olvidar que también los sistemas minihidráulicos pueden tener impactos negativos sobre el medioambiente. Es importante que se preste especial atención al caudal ecológico del curso utilizado para la producción eléctrica, para conservar el ecosistema fluvial y evitar alteraciones en la flora y fauna del entorno.

Sabiendo que el impacto medioambiental es la incidencia en el entorno de la central hidroeléctrica debido a la implantación de esta, los estudios se centrarán en dicha relación entorno-central hidroeléctrica.

Las principales incidencias producidas al implantar una central hidroeléctrica, son:

- Pérdidas de suelo por erosión.
- Destrucción del hábitat de algunas especies animales.
- Cambio de la calidad de aguas (desviaciones, embalsado, azudes, etc.).
- Impacto visual (obra civil).
- Detracción de caudales.
- Electrocutación de aves debido al tendido eléctrico.
- Destrucción de la zona agropecuaria.
- Contaminación sonora.

Si se cumplen las predicciones del Plan de Fomento, en 2010 las centrales minihidráulicas evitarán la emisión de unas 472.000 t de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Las líneas futuras de desarrollo apuntan primordialmente al desarrollo de microturbinas sumergibles para el aprovechamiento de pequeños saltos. Además se desarrollarán nuevos métodos para acometer la obra civil de una forma mucho más sostenible ecológicamente, incidiendo no sólo en la metodología sino también en los materiales que se van a utilizar y el uso de materiales prefabricados.





## 12 | Generación de Energía Eléctrica

## 1. Introducción

272

En este capítulo se presenta la actividad de producción de energía eléctrica en los diferentes contextos internacional y nacional.

Algunos expertos califican a la energía eléctrica de fuente de energía secundaria o vector energético (sistema capaz de almacenar energía y a partir de ella obtener energía luminosa, térmica y mecánica) y otros lo hacen de fuente de energía final (la que se consume directamente en los sectores residencial, industrial y transporte). En cualquiera de los casos, al igual que otras fuentes finales, ésta se obtiene por aplicación de procesos mecánicos, físicos y químicos a las fuentes de energía primarias.

A lo largo del capítulo, se verán algunos de los temas clave (presente y futuro) de la actividad de producción de energía eléctrica. Son estos:

- Materias primas. Distribución de los yacimientos. Seguridad en el abastecimiento. Precios.
- Emisión de elementos contaminantes durante la producción de energía eléctrica.
- Nuevos sistemas y tecnologías para una producción menos contaminante.

En lo referente a España, desde la entrada en vigor de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, la actividad de producción coincide con la de comercialización (se le dedicará el capítulo 14 del presente Manual) en que ambas se encuentran liberalizadas (abiertas a la libre competencia; cualquiera puede dedicarse a ellas). No así las actividades de distribución (se le dedicará el capítulo 13 del presente Manual) y transporte, que se encuentran reguladas (sometidas a los dictados del Gobierno). Esta situación, junto con la política retributiva, es la que ha originado el nacimiento de cientos de empresas dedicadas a la producción de energía eléctrica (en el ámbito de las energías renovables, especialmente la eólica y la solar fotovoltaica).

En cuanto al contenido del capítulo, en el segundo apartado se presentan las principales fuentes de energía, su clasificación y su situación actual en el mundo.

En el tercer apartado se muestran las principales tecnologías utilizadas para producir energía eléctrica.

En el cuarto apartado se hará una exposición de la situación mundial de las materias primas utilizadas en la producción de energía eléctrica.

En el quinto apartado se muestra el contexto internacional de la actividad de producción de energía eléctrica (en el mundo y en la UE).

En el sexto se presenta la actividad de producción de energía eléctrica en España.

En el séptimo apartado se analiza el futuro de la actividad, y en el último se presenta una relación de enlaces de interés para quien quiera ampliar conocimientos.

## 2. Las fuentes de energía

Como ya se adelantó en el primer capítulo de este Manual, una fuente de energía no es más que un depósito de energía. En función de su nivel de transformación se clasifican de la siguiente manera:

- **Primarias.** Son aquellas que se encuentran directamente en la naturaleza y no han sido sometidas a proceso de transformación alguno. En función de su disponibilidad en la naturaleza (cantidad limitada o inagotable), se pueden clasificar entre no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa), respectivamente. Las primeras constituyen el 94% del consumo mundial.
- **Secundarias.** Se denominan también vectores energéticos. Su misión es transportar y/o almacenar la energía, pero no se consumen directamente. Los más importantes son el hidrógeno y la energía eléctrica, a la que muchos expertos (organismos nacionales e internacionales) denominan también electricidad primaria. A partir de ella se obtiene energía luminosa, mecánica y térmica.
- **Finales.** Son las que consumimos cada día en viviendas, industrias y transportes. Las principales son los derivados del petróleo (gasolinas, gasóleos, queroseno, butano, propano, etc.), el gas natural y la energía eléctrica. A partir de ellas se extrae la energía en sus tres formas posibles: energía luminosa, mecánica y térmica. Cada una de éstas, a su vez, es susceptible de convertirse en cualquiera de las otras dos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> "La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma," frase por todos conocida y que corresponde a la 1ª ley de la Termodinámica.



Cada fuente de energía tiene diferente contenido energético (energía por unidad de masa). Aunque es necesario tener en cuenta otros aspectos (principalmente los referidos a los costes, de localización, extracción, transformación, etc.), en principio, cuanto mayor sea el contenido energético de una fuente, más rentable será su explotación. Las fuentes con mayor contenido energético son las de origen fósil (carbón, petróleo, gas natural) y el mineral de uranio.

La unidad de medida de energía utilizada habitualmente es la Tonelada Equivalente de Petróleo (tep). Su valor es igual a la energía obtenida en la combustión de una tonelada de petróleo y, por lo tanto, variará en función del tipo de petróleo considerado. La tep se utiliza para hacer comparaciones y medir la calidad energética de los distintos combustibles.

En cuanto a la situación de las fuentes de energía primaria en España, se puede señalar lo siguiente:

- **Petróleo.** Primera fuente por consumo (50%). A partir de ella, por medio de un proceso denominado refino, se obtienen sus derivados (gasóleo, gasolina, fuel, butano, propano, etc.). Su consumo en España en términos absolutos crece cada año debido al impulso adquirido por el sector transporte (público y privado).
- **Gas natural.** Segunda fuente por consumo (30%). Su introducción data de los años sesenta en Barcelona. Se utiliza principalmente para la producción de energía eléctrica (centrales de ciclo combinado), en la industria (cogeneración) y en el sector residencial para producir energía térmica. El objetivo actual es reducir la dependencia del suministro de Argelia (casi la mitad del consumo total en 2004) diversificando las fuentes de abastecimiento.
- **Carbón.** Tercera fuente por consumo (15%). Durante las crisis del petróleo de los años setenta y ochenta, se lanzaron planes para potenciar el uso de carbón nacional para la producción de electricidad (centrales térmicas). Casi en su totalidad se utiliza para la producción de energía eléctrica (centrales térmicas). Se suele utilizar como solución de emergencia para paliar los altos precios del petróleo. Es la fuente cuya combustión produce más contaminantes. Se está investigando en tecnologías (complejas y costosas) para obtener carbón limpio.
- **Uranio.** Cuarta fuente por consumo. Su importancia relativa pierde enteros cada año (desde 1984, año de la moratoria, todos los proyectos de nuevas centrales se encuentran paralizados). Se utiliza para producir electri-

cidad en centrales nucleares. En estos momentos, tras el cierre de Zorita el año pasado, quedan en España ocho unidades de producción nuclear en funcionamiento.

- **Biomasa.** Quinta fuente por consumo (3%). Se espera un crecimiento rápido de su empleo en los próximos años gracias al fomento de los gobiernos como energía renovable (para producir energía eléctrica). En bruto (residuos vegetales y forestales, restos de fábricas de muebles, leña, etc.) o transformada (briquetas) se utiliza principalmente para producir energía térmica. En la segunda mitad del siglo XX perdió cuota, especialmente en el consumo residencial, en favor de los gasóleos y los gases licuados del petróleo (propano y butano).
- **Hidroeléctrica.** Sexta fuente por consumo (menos del 2%). Hacia 1960 llegó a ocupar la segunda por detrás del carbón. Una vez que se ha paralizado la construcción de embalses, no se espera un gran desarrollo de esta energía en los próximos años.
- **Eólica.** Séptima posición por consumo (menos del 1%). En septiembre de 2005, la energía eólica llegó a cubrir más del 30% de la demanda de energía eléctrica, con lo que consiguió un récord histórico.
- **Incineración de residuos sólidos urbanos (RSU).** Octava fuente por consumo. En la década de 1990 se llevaron a cabo sistemas de incineración junto a las grandes ciudades como Madrid y Barcelona, pero resultan sistemas impopulares principalmente debido a los olores que emiten.
- **Solar térmica.** Captación de la energía térmica del Sol para calentar el agua consumida en procesos industriales y hogares. Su inicio se produjo en la década de 1980 con las crisis del petróleo, pero se encuentra muy poco desarrollada. Supone un porcentaje ínfimo entre las fuentes de energía primarias.
- **Solar fotovoltaica /Termosolar.** Hasta ahora su nivel de consumo (para producir energía eléctrica) es bajo, pero su potencial de crecimiento es enorme.

En cuanto a la situación de las fuentes de energía final en España, se puede señalar lo que figura en la tabla 1.

Las centrales de producción de energía eléctrica son como una fábrica. Se tiene una materia prima (fuente de energía o combustible) a la que se la somete a un proceso de transformación (para extraerle/convertir la energía que contiene) para obtener un producto (energía eléctrica).

TABLA 1  
Situación de las fuentes de energía final en España 2006

Fuente de energía final	Peso	Destino principal
Derivados del petróleo	60%	Transporte / Residencial / Industrial
Electricidad	20%	Residencial / Industrial
Gas natural canalizado	16%	Residencial / Industrial
Carbones	2%	Residencial
Biomasa	1%	Residencial
Solar térmica	1%	Residencial / Industrial

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Tecnologías de producción de energía eléctrica

Algunos combustibles requieren de procesos de preparación previos a su explotación (carbón, petróleo, gas natural, uranio, residuos y biomasa) y otros no (sol, viento y agua embalsada).

Las principales tecnologías para producción y el combustible que utilizan son las siguientes:

TABLA 2  
Tecnologías de producción y combustible.

Tecnología	Peso	Ciclo de vapor
Térmica	Carbón / Fuel / Gas Natural	X
Nuclear	Uranio enriquecido	X
Eólica	Viento	
Hidráulica	Agua embalsada	
Hidráulica de bombeo	Agua embalsada	
Cogeneración	Calor residual + Gas Natural	X
Termosolar	Energía solar	X
Fotovoltaica	Energía solar	
Incineradora	Residuos / Biomasa	X

Fuente: Elaboración propia.

Para los lectores interesados, en la página de UNESA ([www.unesa.es](http://www.unesa.es)) se puede ver el funcionamiento de cada tipo de central (tecnología).

De manera general (no todos son siempre necesarios), estas son las etapas que se suceden en una central:

- Recepción del combustible.
- Almacenamiento del combustible.
- Preparación previa del combustible.
- Almacenamiento del combustible preparado.
- Procesado (aplicación de la tecnología) del combustible para la obtención de energía eléctrica.
- Evacuación de la energía eléctrica.
- Eliminación / evacuación de residuos.
- Elevación del nivel de tensión de la energía eléctrica.
- Inyección de la energía eléctrica en la red de transporte / distribución.

La cantidad de energía que es capaz de producir una central depende básicamente de dos factores: Su potencia nominal (potencia que es capaz de desarrollar en condiciones normales) y régimen de funcionamiento (número de horas anual de funcionamiento en condiciones normales). Cada central o, para ser más exactos, cada uno de sus grupos de producción, tiene una potencia nominal y un régimen de funcionamiento característicos. Veamos un ejemplo para hacernos una idea de las diferentes capacidades de producción de energía existente entre cada una de ellas. Una central térmica (en este caso sería sólo uno de sus grupos) típica puede tener una potencia de 400 MW y funcionar durante 7.000 h/año, por lo que será capaz de producir 2,8 GWh/año. Por su parte, un parque eólico de tamaño convencional tiene una potencia de 50 MW y un régimen de funcionamiento, en el mejor de los casos, de 2.700 h/año, por lo que producirá 0,135 GWh/año (un 5% de la anterior).

Por ser las centrales más utilizadas y que más energía producen, se explicará a continuación, de manera resumida, el funcionamiento de las centrales térmicas y su ciclo de vapor<sup>2</sup>.

Una vez dispuesta la materia prima (combustible), se introduce en una caldera donde se quema generando calor

<sup>2</sup> Se denomina ciclo de vapor porque la turbina funciona con vapor de agua.

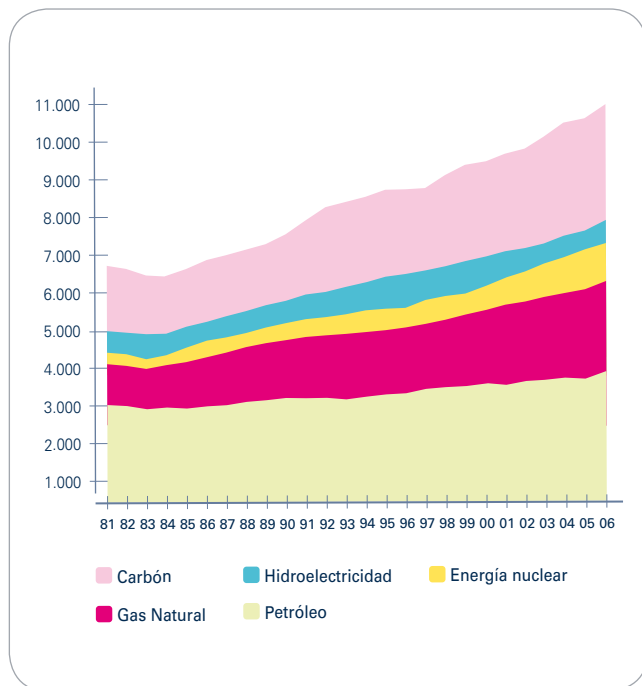
(energía calorífica). Este calor se utiliza para convertir en vapor a alta presión el agua que circula por una extensa red de tubos. Este vapor, a su vez, se utiliza para mover (energía mecánica) los alabes de una turbina que, al estar su eje unido solidariamente con el de un alternador, origina el giro de éste y se produce electricidad (energía eléctrica). Como puede verse, en una central térmica se llevan a cabo múltiples transformaciones de distintas formas de energía<sup>3</sup>.

#### 4. Materias primas para la producción de energía eléctrica

Las centrales nucleares, de cogeneración, termosolares e incineradoras también funcionan con un ciclo de vapor. La principal diferencia con las térmicas se encuentra en la materia prima utilizada. En concreto, las centrales de cogeneración disponen de un ciclo de vapor y otro de gas<sup>4</sup>.

Las fuentes de energía más utilizadas para producir energía eléctrica son el petróleo, el carbón y el gas natural. Tanto el

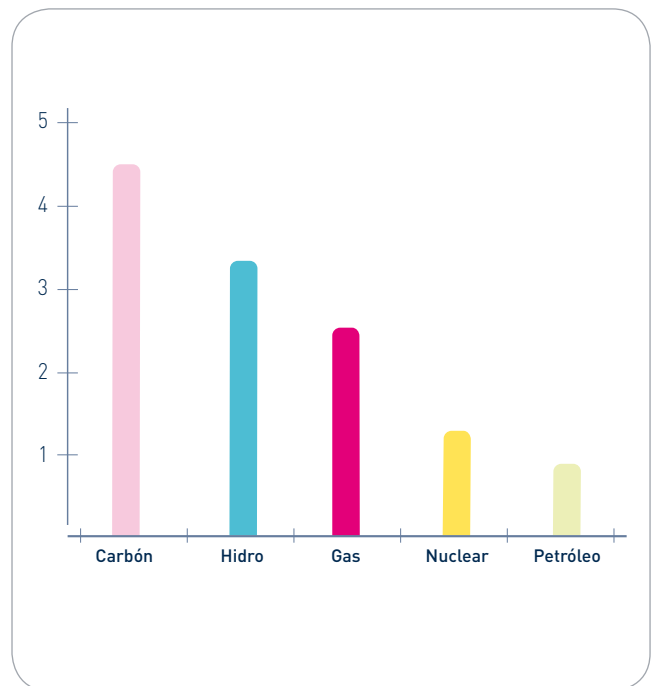
FIGURA 1  
Evolución de las fuentes utilizadas para la producción de energía eléctrica (1981-2006) en 10<sup>6</sup> tep.



Fuente: British Petroleum. (BP).

gas natural (en los últimos años) como el carbón (un 4,5% de 2005 a 2006) son las que más han crecido. Lo de esta fuente se debe al extraordinario desarrollo económico que están sufriendo países como China y la India cuyos parques de generación están formados casi exclusivamente por centrales térmicas de carbón (por cierto, la materia cuya combustión más CO<sub>2</sub> emite).

FIGURA 2  
Crecimiento de las fuentes utilizadas para la producción de energía eléctrica en 2006.



Fuente: British Petroleum (BP).

Dada la dependencia del ser humano (países desarrollados o en vías; aquí no hay excepciones) de la energía eléctrica, todo lo relacionado con las fuentes utilizadas para su producción resulta clave, especialmente los siguientes aspectos: el precio, la localización de las reservas, la cantidad de reservas probadas (es lo mismo que el número de años para los que hay reservas) y la contaminación producida en su explotación.

A continuación se presentan, para las principales fuentes, alguno de esos aspectos y datos relevantes que ayudarán al lector a hacerse una idea de la situación mundial en estos momentos.

<sup>3</sup> La 1ª Ley de la Termodinámica enunciaba que "La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma".

<sup>4</sup> Además de la turbina de vapor, estas centrales disponen de otra de gas (los alabes son movidos por los gases calientes y a presión emitidos en la combustión del gas natural).

## 4.1. Petróleo

El primer pozo de petróleo fue perforado en 1859 por el norteamericano Edwin Drake en Pensilvania (Estados Unidos). El 14 de septiembre de 1960 se constituyó en Bagdad la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Los países que actualmente integran esta organización son:

TABLA 3  
Países que forman la OPEP 2007

País	Año de adhesión
Irak *	1960
Irán *	1960
Kuwait *	1960
Arabia Saudí *	1960
Venezuela *	1960
Qatar	1961
Libia	1962
Indonesia	1962
Emiratos Árabes Unidos	1967
Argelia	1969
Nigeria	1971
Angola	2007

\* Fundador.

Fuente: Elaboración propia.

Otros países productores de petróleo no integrantes de la OPEP (México, Noruega, Rusia, Kazajistán, Omán o Egipto),

participan regularmente como observadores en las reuniones ordinarias de la Organización.

Los crudos de referencia<sup>5</sup> son los siguientes:

- **Brent Blend.** Proveniente del mar del Norte. De referencia en Europa, África y Oriente Medio.
- **West Texas Intermediate.** De referencia para Estados Unidos.
- **Dubai.** De referencia para la región Asia-Pacífico.
- **Tapis.** Proveniente de Malasia. De referencia como crudo ligero en el Lejano Oriente.
- **Minas.** Proveniente de Indonesia. De referencia como crudo pesado en el Lejano Oriente.

A continuación se presentan algunos de los aspectos que definen su situación actual:

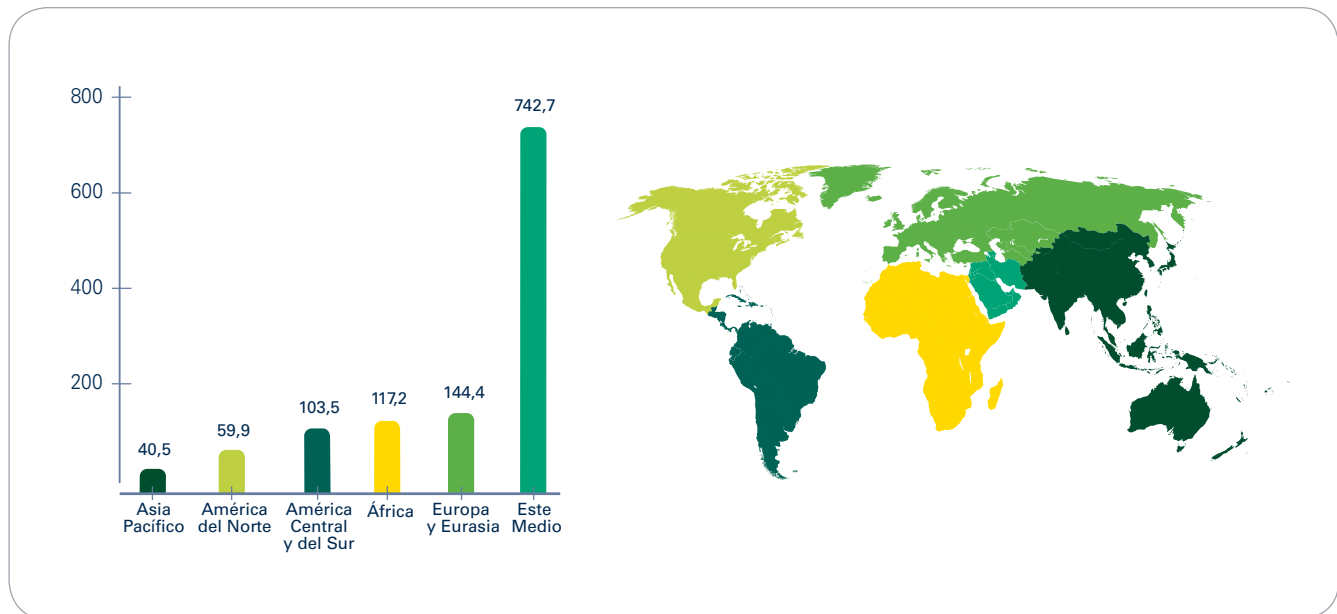
- Junto con el carbón es con diferencia la primera fuente de energía consumida en el mundo.
- Las reservas probadas se encuentran limitadas. Hay petróleo para sólo 40 años (1,3 x 10<sup>12</sup> barriles<sup>6</sup>). Por ello, la prospección (búsqueda) se lleva a cabo en zonas más inaccesibles (mar y tierra), lo que exige nuevas y más caras tecnologías.
- Las reservas se encuentran concentradas en unas pocas áreas del planeta que, además, se caracterizan por su inestabilidad social y política (Oriente Medio, América Latina). Esto provoca inseguridad e incertidumbre en el abastecimiento.
- El precio del barril de crudo Brent ronda los 120 dólares (julio 2008).
- El hecho de disponer de alrededor del 80% de las reservas probadas en el mundo, sitúa a la OPEP en una posición dominante que no duda en aprovechar en su propio beneficio. La decisión, por ejemplo, de reducir la producción causa una inmediata subida de los precios del barril.
- Existe un déficit mundial de la capacidad refino<sup>7</sup>. Las refinerías son instalaciones muy caras y con unos periodos de retorno largos, por lo que, mientras se

<sup>5</sup> En función del lugar de origen y su gravedad API (índice del American Petroleum Institute).

<sup>6</sup> Un barril de petróleo Brent contiene 159 l (1,3878 tep).

<sup>7</sup> Proceso por el cual se obtienen los derivados del petróleo.

FIGURA 3  
Reparto de las reservas probadas de petróleo en 2006 (10<sup>9</sup> barriles).



Fuente: British Petroleum (BP).

investigan nuevas fuentes de energía, las compañías petrolíferas no se deciden a acometer la inversión necesaria. Excepto en los países de la antigua Unión Soviética, la capacidad de refino se ha mantenido constante durante la última década. Muchos países no encuentran problemas para acceder a todo el petróleo que necesitan, pero sí en procesarlo para obtener sus derivados (que son los que realmente se consumen, en las centrales de producción de energía eléctrica, transportes, industrias y hogares).

- Se mide en barriles.

## 4.2. Gas Natural

Al estar compuesto en un 90% por metano (un único átomo de carbono; CH<sub>4</sub>), su combustión genera menos CO<sub>2</sub> que los derivados del petróleo y que el carbón, pero tiene un contenido energético inferior.

A continuación se presentan algunos de los aspectos que definen su situación actual:

- Debido a que en la mayoría de los casos se localiza junto a los yacimientos de petróleo, su precio se encuentra indexado al del barril (el coste de extracción es similar).
- Las reservas probadas se encuentran limitadas. Hay gas natural para 70 años.

- Las reservas se encuentran concentradas en unas pocas áreas del planeta (Rusia el 38% y Oriente Medio el 35%).
- A diferencia de la OPEP, hasta ahora no existe una organización de países productores. Rusia (mayor productor mundial) lo ha propuesto este año y ha obtenido el rechazo de la comunidad internacional.
- Actualmente constituye la segunda fuente en la producción de energía eléctrica (ha desbancado al fuel-oil, que fundamentalmente se utiliza como combustibles para el transporte).
- Más de una cuarta parte del gas que consume Europa proviene de Rusia. Para Alemania y Francia supone el 42% y el 26% de las fuentes de energía primarias consumidas, respectivamente. En España no consumimos gas ruso.
- Se mide en metros cúbicos.

## 4.3. Carbón

A continuación se presentan algunos de los aspectos que definen su situación actual:

- Es la fuente de energía más utilizada para producir energía eléctrica y a la vez aquella cuya combustión origina más emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, al igual que

los derivados del petróleo, su combustión emite partículas de azufre (causantes de la lluvia ácida<sup>8</sup>). Por estos motivos, se investiga en obtener los denominados carbones limpios (reducida emisión de partículas perjudiciales).

- Hay reservas probadas para 200 años, muy por encima del petróleo y el gas natural, por lo que en el futuro continuará siendo una de las principales fuentes de energía.
- Dichas reservas se encuentran localizadas en muchos países (Estados Unidos, antigua Unión Soviética, China, Alemania, etc.) no conflictivos.
- Es un perfecto complemento al petróleo y al gas natural en momentos de precios altos y/o problemas de abastecimiento.
- Se mide en toneladas.

#### 4.4. Nuclear

A continuación se presentan algunos de los aspectos que definen su situación actual:

- Actualmente hay más de 400 reactores nucleares en funcionamiento en el mundo.
- Los mayores productores de energía nuclear son Estados Unidos, Francia y Japón.
- En Estados Unidos el 20% de la energía eléctrica proviene de centrales nucleares mientras que en Francia es el 80%.
- Entre las ventajas de la energía nuclear destacan las siguientes:
  1. Al no tener un origen fósil (no posee átomos de carbono), su explotación<sup>9</sup> para obtener la energía eléctrica no emite CO<sub>2</sub> ni otras sustancias perjudiciales.
  2. El mineral del que procede la materia prima (uranio) es muy abundante por toda la corteza terrestre y, aunque sólo unos pocos países (Estados Unidos, Rusia, el Reino Unido, China, Francia, etc.) disponen de la tecnología necesaria

para enriquecerlo, el uranio enriquecido es barato en comparación con las anteriores fuentes de energía.

- Entre sus inconvenientes destacan los siguientes:
  1. La construcción de una central nuclear requiere altos niveles de inversión.
  2. En caso de accidente en la central nuclear, las consecuencias pueden ser desastrosas, tanto para el medio ambiente como para los seres humanos en muchos cientos de kilómetros a la redonda.
  3. Los residuos (curio, neptunio, americio, etc.) mantienen niveles de radioactividad perjudiciales para el ser humano durante cientos e incluso miles de años, por lo que su almacenamiento y control representan uno de los retos más importantes a los que se enfrenta esta industria.
  4. Por el potencial de destrucción que tendría la emisión de partículas radioactivas a la atmósfera, las centrales nucleares se han convertido en objetivos potenciales de ataques terroristas.
- En los últimos años, debido al fuerte incremento del precio del barril del crudo de petróleo y del Gas Natural (GN), se ha reabierto el debate en cuanto a la necesidad de desarrollar nuevas centrales nucleares para reducir la dependencia de aquellos.

#### 4.5. Hidroeléctrica

A continuación se presentan algunos de los aspectos que definen su situación actual:

- El combustible (agua) es gratuito.
- El nivel de producción de energía eléctrica no es constante (depende de las lluvias). En un año seco, la producción disminuye mucho.
- Es una tecnología que complementa muy bien al resto. En caso de ser necesario cubrir una punta de demanda de energía eléctrica, basta con dejar caer el agua sobre las turbinas.

<sup>8</sup> Se denomina lluvia ácida a las precipitaciones de agua que, conteniendo partículas de ácidos sulfurosos y nitrogenados en disolución, tienen lugar en forma de neblina, lluvia o nieve sobre la superficie terrestre. Esos ácidos se forman por el contacto del hidrógeno del agua (H<sub>2</sub>O) con las moléculas de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) emitidas a la atmósfera por el ser humano.

<sup>9</sup> La energía térmica necesaria para convertir el agua en vapor a alta presión (ciclo de vapor) no se obtiene de la combustión de ninguna materia sino de la fisión (escisión) de los átomos de uranio.

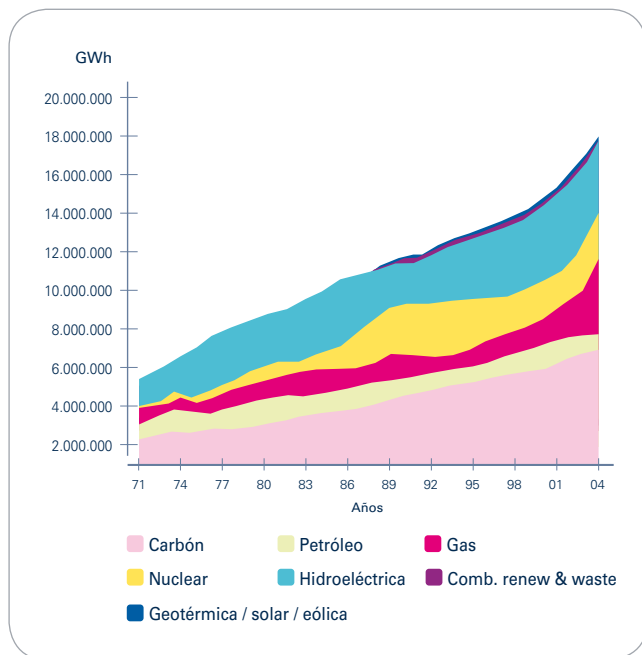
- Para muchos países en vías de desarrollo representa la única alternativa para la producción de energía eléctrica.

## 5. Contexto internacional de la actividad de producción de energía eléctrica

En primer lugar se analizará la evolución de la contribución de cada fuente a la producción<sup>10</sup> de energía eléctrica durante el periodo 1971-2004. Las principales conclusiones extraídas son las siguientes:

- La fuente más utilizada en todo el mundo para producir energía eléctrica es el carbón. Su aportación relativa (porcentaje sobre el total) se ha mantenido constante (próximo al 40%) desde hace más de tres décadas.
- La aportación relativa de los derivados del petróleo ha descendido sensiblemente en favor del gas natural.
- La aportación de la energía nuclear (construcción de centrales) inició su despegue con las crisis del petróleo

FIGURA 4  
Evolución de la contribución de cada fuente a la producción de energía eléctrica mundial 1971-2004



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA).

de los años setenta (desarrollando vías alternativas para obtener energía eléctrica). Desde principio de los años noventa, la aportación en valor absoluto apenas ha crecido como consecuencia del rechazo social originado en todo el mundo.

- La aportación hasta hoy de las fuentes de origen renovable es insignificante.

Dada la importancia que actualmente tiene la energía eléctrica en nuestras sociedades, el análisis de este tipo de gráficas (consumo de energía eléctrica) resulta altamente interesante, no sólo para conocer la actividad de la producción (pasado, presente y tendencias futuras) sino también para adquirir una amplia perspectiva de la situación general de la energía en el mundo.

A continuación se presenta la misma gráfica correspondiente a algunos países significativos y los comentarios que sugiere su estudio. El autor recomienda a los lectores interesados la consulta, en la página de la Agencia Internacional de la Energía ([www.iea.org/Textbase/stats/index.asp](http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp)), de las gráficas correspondientes a otros países por los que pueda sentir curiosidad (en muchos casos se encuentran resultados insospechados).

### Estados Unidos

La fuente más utilizada (menos del 50%) es el carbón. Este país es el mayor emisor mundial de CO<sub>2</sub> y, a pesar de las instancias internacionales, no se ha adherido al Protocolo de Kioto. Como en el resto de países, los derivados del petróleo casi no se utilizan ya para producir energía eléctrica.

### Rusia

Caso singular. En las últimas tres décadas la producción de energía eléctrica no sólo no ha crecido sensiblemente (como en el resto de países), sino que ha descendido. Alta utilización del gas natural (no en vano Rusia es el primer productor mundial).

### Australia

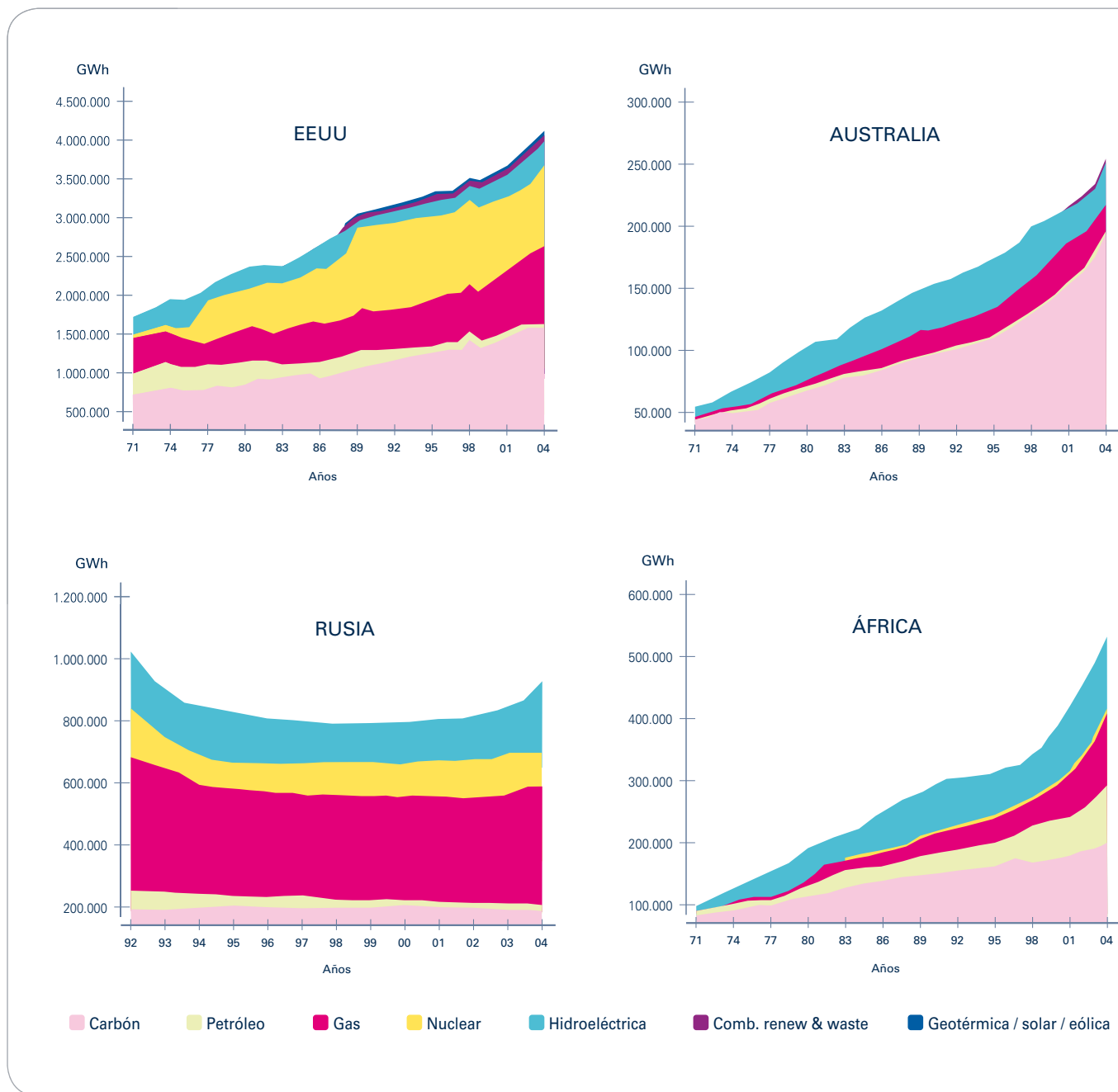
La aportación del carbón a la producción de energía eléctrica es superior al 80%, con todo lo que ello supone en emisiones de CO<sub>2</sub>. A pesar de ser un país grande y desarrollado, no dispone de energía nuclear.

### África

Al igual que en el conjunto mundial, el carbón es la fuente más consumida para producir energía eléctrica. Se debe destacar la aportación relativa de la energía hidroeléctrica y

<sup>10</sup> Decir producción es prácticamente lo mismo que decir consumo - demanda.

**FIGURA 5**  
Evolución de la contribución de cada una de las fuentes a la producción de energía eléctrica 1971-2004



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA).

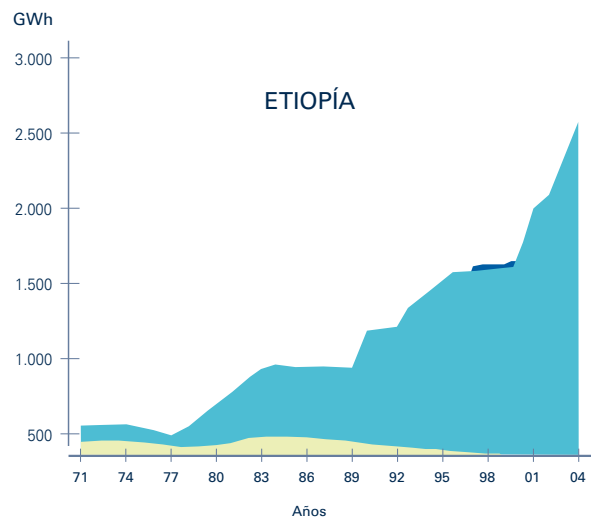
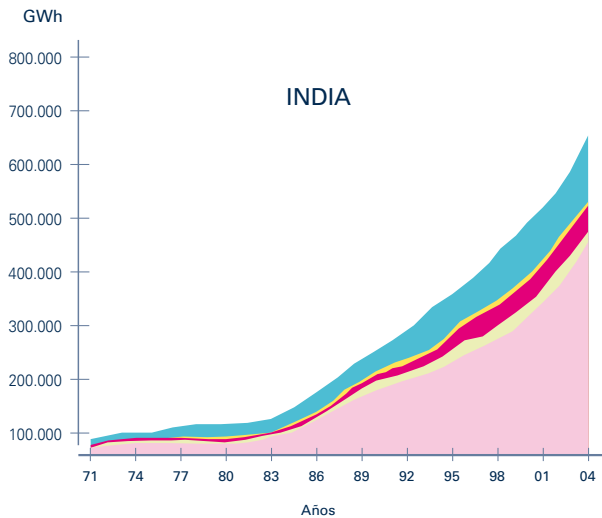
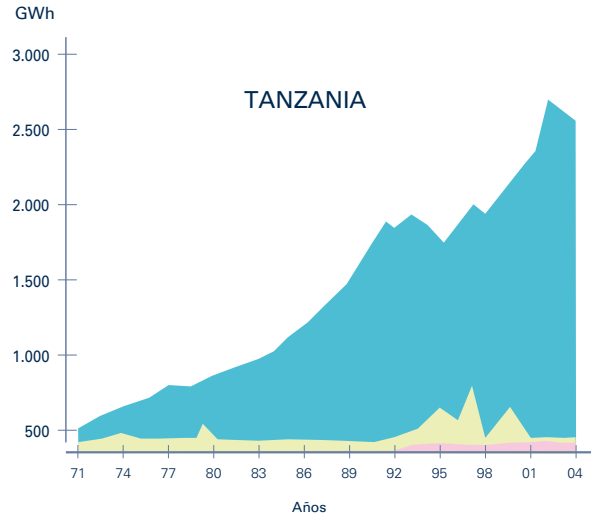
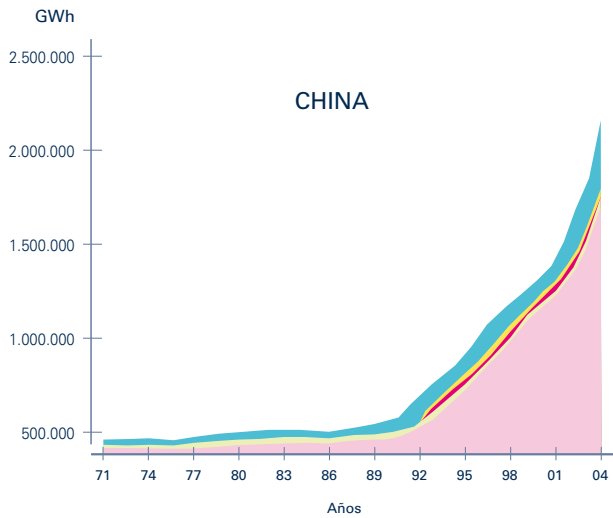
del gas en un continente con muchos saltos de agua y el 8% de las reservas mundiales de gas natural (dato de 2006).

**China / India**

Junto con Estados Unidos, los países que más energía eléctrica consumen en el mundo. Las economías de estos dos países y, por tanto, el consumo de energía eléctrica presentan desde hace unos años crecimientos interanuales próximos a las dos cifras. Esto, unido al hecho de que,

como se puede ver en las gráficas, en ambos casos más del 80% de la energía eléctrica generada proviene del carbón, convierte a estos países en dos de los mayores emisores de CO<sub>2</sub>. Ambos se encuentran exentos de cumplir los objetivos de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) marcados por el Protocolo de Kioto. De hecho, no se han adherido a él por considerar que una reducción de sus emisiones (del volumen de energía producida) representaría un freno a su desarrollo.





### Tanzania y Etiopía

Dos de los países más pobres del mundo cubren su demanda interna de energía eléctrica con una fuente autóctona y gratuita: El agua.

En cuanto al futuro, los expertos de la Unión Europea presentan, para el periodo 2000-2030, las siguientes previsiones mundiales de aportación de cada uno de los sistemas a la producción de energía eléctrica:

- El lignito (modalidad de carbón con la que se produce más del 50% de la energía eléctrica mundial) va a reducir su aportación en favor de los carbones limpios (en fase de investigación). En cualquier caso, sea en la modalidad que sea, con más de 200 años de reservas no podemos permitirnos el lujo de desechar esta fuente de energía. De hecho, tal y como muestran las previsiones, la cantidad de energía eléctrica obtenida a partir del carbón se tripli-

TABLA 4  
Previsiones mundiales de aportación a la producción de energía eléctrica de los diferentes sistemas 2000-2030

Tipo	2000 (TWh)	2030 (TWh)
<b>Térmica</b>	9.298	25.803
Carbón lignito convencional	5.516	4.326
Tecnología avanzada carbón	0	11.332
Gas	2.418	8.542
Biomasa	196	423
<b>Nuclear</b>	2.623	3.497
<b>Hidro-Geotérmica</b>	2.772	4.563
<b>Solar</b>	1,5	58,1
<b>Eólica</b>	23,2	543,4
<b>Minihidráulica</b>	148,4	258
<b>Total</b>	<b>14.866</b>	<b>34.723</b>
<b>Cogeneración</b>	585	1.567
<b>Total general</b>	<b>15.451</b>	<b>36.290</b>

Fuente: UE.

cará (5.500 TWh a 15.600 TWh) y pasará de representar un tercio del total de la producción (5.500 TWh sobre 15.400 TWh) a casi la mitad (15.600 TWh sobre 36.200 TWh).

- El gas natural va a incrementar su aportación en un 350%.
- La biomasa, que es la principal fuente de energía para la producción de energía térmica (en multitud de países subdesarrollados es la única materia prima de la que disponen), en 2030 continuará representando una aportación mínima como fuente para producir energía eléctrica.
- A pesar de la polémica que en la mayoría de países suscita la energía nuclear, su aportación aumentará en un 30%. Países como Japón, Francia y Estados Unidos apuestan decididamente por ella.

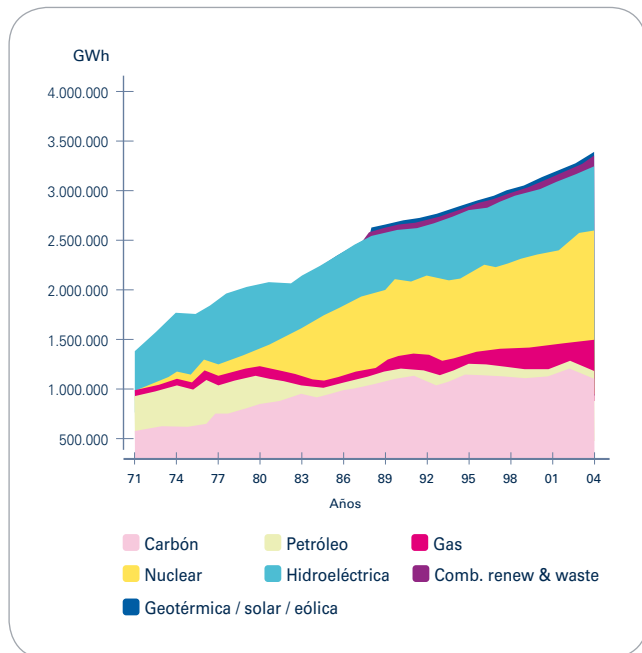
- En general, la aportación de las fuentes renovables aumentará sensiblemente. La eólica y la solar crecerán 20 veces aunque en valor absoluto su aportación seguirá siendo mínima.
- La cogeneración ganará peso tanto relativo (se multiplicará por tres) como absoluto (supondrá casi el 5% del total).

Promovido también por la UE, y elaborado por expertos franceses, belgas y españoles, se ha elaborado el WETO<sup>11</sup> y WETO-H2 con las previsiones mundiales para el conjunto de la energía para 2030 y 2050, respectivamente. Las más relevantes son éstas:

- **2030**
  1. La demanda energética mundial aumentará en torno al 1,8% anual.
  2. Los países "en desarrollo" representarán más del 50% frente al 40% actual (más emisiones de CO<sub>2</sub>).
  3. EEUU emitirá un 50% más de CO<sub>2</sub> que en 1990, frente al 18% que habrá alcanzado la UE.
  4. La producción de energía eléctrica aumentará en un 3% anual (mayor participación carbón, renovables y gas natural).
- **2050**
  1. El consumo medio anual de energía pasará de los 10 Gtep actuales a 22 Gtep.
  2. La aportación de las fuentes de origen fósil será del 70% de esos 22 Gtep (carbón y petróleo un 26% cada uno, y el gas natural un 18%). El 30% restante se repartirá a partes iguales entre las renovables y la nuclear.
  3. El consumo de energía eléctrica será cuatro veces superior al actual.
  4. El carbón continuará siendo la fuente con mayor aportación a la producción de energía eléctrica.
  5. El precio del carbón alcanzará los 110\$.
  6. En 2020 comenzará el despegue de la energía nuclear y de las renovables con nuevas tecnologías, y se consolidará en 2030.

<sup>11</sup> World Energy, Technology and Climate Policy Outlook.

**FIGURA 6**  
**Evolución de la contribución de cada fuente a la producción de energía eléctrica OECD 1971-2004**



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA).

- Las fuentes para la producción de energía eléctrica serán casi exclusivamente carbón, las renovables y la nuclear.

Trasladándonos a la Unión Europea, a continuación se presenta la evolución de la contribución de cada fuente a la producción de energía eléctrica en el periodo 1971-2004 para los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD)<sup>12</sup>.

- Incremento relativo de las aportaciones de gas natural y nuclear en favor del carbón, la hidráulica y, especialmente, los derivados del petróleo (el destino de la energía que contienen está cada vez más enfocado al transporte en forma de energía mecánica y al sector residencial en forma de energía térmica). El carbón, sin embargo, en términos absolutos ha incrementado su aportación.
- Constancia en la aportación absoluta de la hidráulica (no se hacen nuevos embalses ni saltos de agua).
- Tímida aportación, los últimos años, de las fuentes de origen renovable y biomasa (principalmente residuos).

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a los países más significativos, y algunos comentarios en cada caso.

#### Finlandia

Contribución muy repartida. Hay que destacar la nula aportación de los derivados del petróleo y la importancia de las fuentes de origen renovable que, junto con la hidroeléctrica, suponen el 25% del total.

#### Francia

Primero del mundo en cuanto a la aportación de la energía nuclear a la producción de energía eléctrica. Exceptuando la hidroeléctrica, el resto de fuentes apenas existen.

#### Alemania

Las tres fuentes de energía más utilizadas son el carbón (proveniente de sus famosas cuencas mineras), la energía nuclear (con Francia es el país que más energía de este tipo consume) y muy por detrás el gas natural. A pesar de ser líder mundial en producción de energía eléctrica a partir de fuentes de origen renovable (especialmente solar y eólica), su contribución relativa es mínima, no así en términos absolutos (25.000 GWh en 2004).

#### Islandia

El país con mayor renta per cápita del mundo cubre más del 85% de sus necesidades de energía eléctrica con la energía hidráulica, y el resto, como suele ocurrir en los países del norte de Europa (con un alto nivel de compromiso social entre sus ciudadanos por la protección del medio ambiente), con otras fuentes de origen renovable.

#### Dinamarca

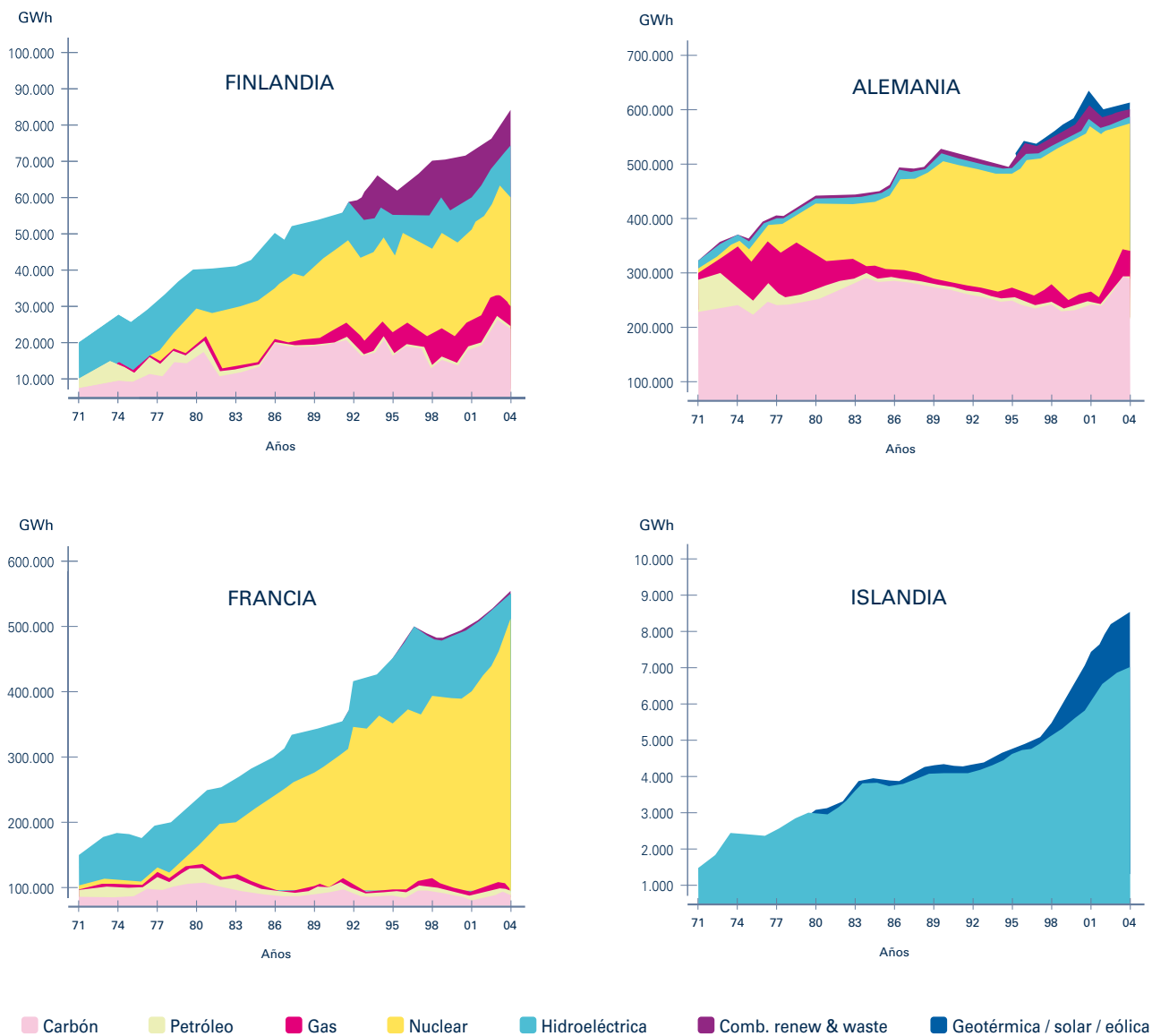
La mitad de la energía eléctrica proviene del carbón. Tan sólo hace una década el país apostó por el gas natural y las fuentes renovables (especialmente de la biomasa y la eólica) para sustituir a los derivados del petróleo y cubrir al mismo tiempo los incrementos de la demanda de energía eléctrica y, desde entonces, la contribución relativa de estas fuentes ha sido espectacular.

#### Italia

En la última década, este país (uno de los siete más ricos del planeta), ha sido capaz de modificar la contribución de las fuentes, y ha reducido el consumo de derivados del petróleo en favor del gas natural y, en menor medida, del carbón. Como en la mayoría de países desarrollados, la contribución absoluta de la energía hidroeléctrica se mantiene prácticamente constante desde hace más de 30 años. Otro hecho que se puede destacar es el incremento en la aportación relativa de las fuentes renovables.

<sup>12</sup> Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, el Reino Unido, Suecia, Suiza, Finlandia, República Checa, Hungría, Polonia y Eslovaquia.

**FIGURA 7**  
Evolución de la contribución de cada una de las fuentes a la producción de energía eléctrica 1971-2004



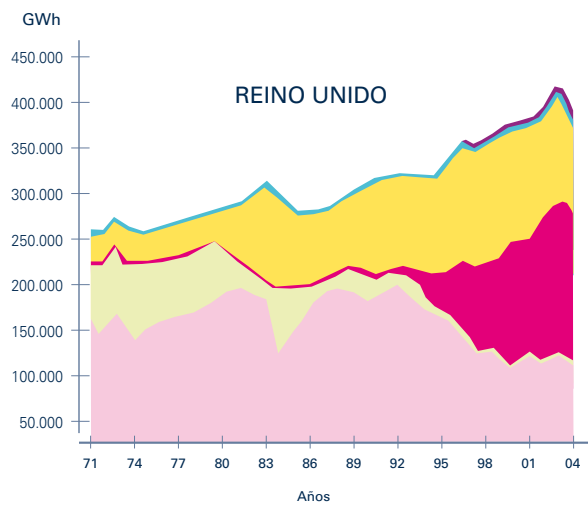
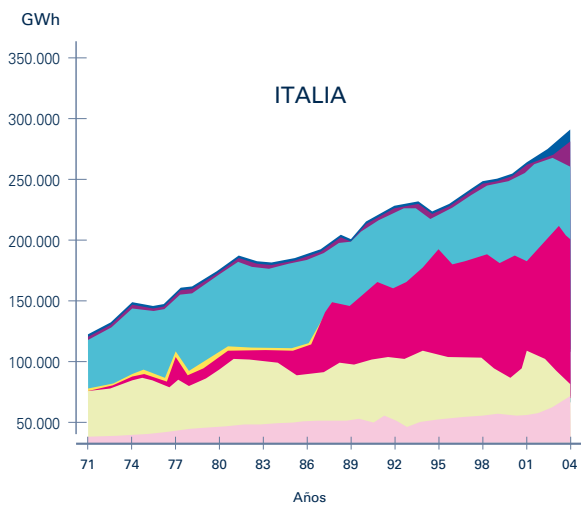
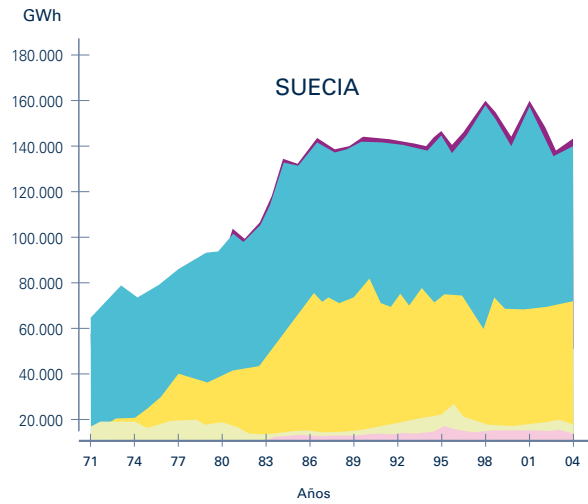
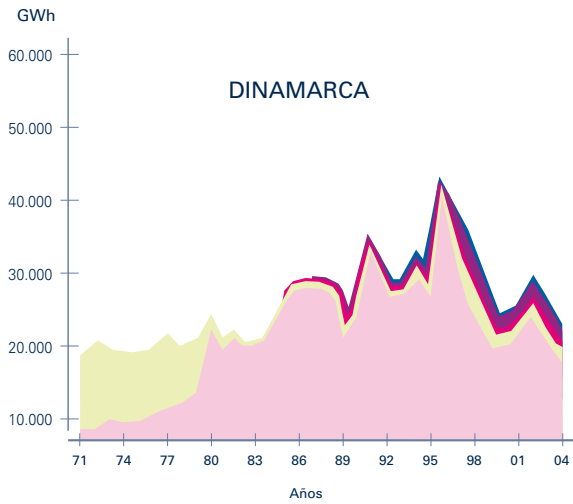
Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA).

**Suecia**

De los pocos países del mundo que teniendo un alto nivel de vida es capaz de cubrir toda su demanda de energía eléctrica con fuentes autóctonas (biomasa y energía hidroeléctrica). Además es uno de los países desarrollados con más experiencia en la explotación de la biomasa y los residuos para obtener energía eléctrica.

**Reino Unido**

Al igual que Alemania, este país dispone de una importante cuenca minera, por lo que la aportación del carbón es superior al 30%. En los últimos años, sin embargo, tanto la contribución de esta fuente como la de los derivados del petróleo (prácticamente anulada), han disminuido sensiblemente en favor del gas natural. Hay que resaltar el peso de la biomasa y los residuos (alrededor del 25% del total de las fuentes).



En cuanto al futuro, las previsiones del WETO-H2 para Europa son las siguientes:

- El consumo total de energía primaria pasará de los actuales 1,9 Gtep/año a 2,6 Gtep/año.
- A partir de 2020 se acelerará el desarrollo de las fuentes de origen renovable y reaparecerá la nuclear.

- Las fuentes de origen no fósil (renovables y nuclear) pasarán del actual 20% al 40%.
- Estabilidad en las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta 2030 (políticas de combate) y disminución hasta 2050 llegando a ser un 10% inferiores a las actuales.

- Las fuentes de origen renovable satisfarán un 22% de la demanda total de energía, las nucleares el 30% y las de origen fósil menos del 50%.
- La mitad de la generación de energía eléctrica en centrales térmicas dispondrán de sistemas que permitan la captura y el almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- La mitad del total de los edificios serán de bajo consumo de energía y una cuarta parte de muy bajo consumo.
- Más de la mitad de los vehículos serán de baja o muy baja emisión (vehículos eléctricos o con motores de hidrógeno).
- La aportación de las renovables y nuclear a la energía eléctrica será de un 60%.
- El consumo total de energía permanecerá casi estable hasta 2030, y luego comenzará a aumentar.
- El 70% de la producción de energía eléctrica no generará CO<sub>2</sub>.
- El paso a una economía del hidrógeno inducirá nuevas transformaciones en la estructura de la generación y la cuota de la energía nuclear alcanzará el 38%.

## 6. La actividad de producción de energía eléctrica en España

Antes de presentar la actividad de producción de energía eléctrica en España, se exponen a continuación algunos hechos característicos del sector energético en su conjunto. Son estos:

- Alta dependencia exterior. Alrededor del 85% de las fuentes de energía primaria son importadas, lo que puede ocasionar riesgos inflacionistas y desequilibrios macroeconómicos en situaciones de precios del petróleo al alza.
- España es una isla energética. No disponemos apenas de petróleo ni de gas natural. Nos encontramos geográficamente situados en el extremo sur de Europa. Disponemos de interconexiones eléctricas con Francia, Portugal, Andorra y Marruecos, y de gas natural (gasoductos) con Francia, Portugal y Argelia.

- Intensidad energética<sup>13</sup> creciente. Desde hace una década la intensidad energética presenta una tendencia creciente, al revés que en el conjunto de la UE, donde decrece. Esto se debe fundamentalmente a la baja eficiencia de nuestro sector productivo (utilizamos más cantidad de energía para producir la misma unidad de producto). Uno de los grandes retos para el futuro inmediato es desligar el crecimiento económico del consumo de energía.
- En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, somos uno de los países de Europa que más difícil tiene cumplir con los compromisos adquiridos con la adhesión al Protocolo de Kioto (en el periodo 2008-2012 deberíamos emitir una cantidad máxima de CO<sub>2</sub> equivalente a un 15% más de la emitida en 1990; en estos momentos nuestras emisiones son un 50% superiores).

En lo que se refiere al sector eléctrico, cabe reseñar lo siguiente:

- El espectacular crecimiento de la economía española durante la última década ha motivado el mayor incremento del consumo de energía eléctrica de la UE.
- En el periodo 1997-2006 la demanda de energía eléctrica aumentó un 60%.
- Durante todo el periodo 1996-2004 el crecimiento interanual de la demanda de energía eléctrica fue superior al del PIB.
- En 2006 para una potencia total instalada a final de año de 85.935 MW, se produjeron 302 GWh<sup>14</sup> y se consumieron 259,4 GWh. La diferencia se debió a nuestro saldo positivo de exportaciones.
- A lo largo de 2006 la potencia instalada sufrió un importante incremento (5,8%) debido fundamentalmente a las unidades de ciclo combinado puestas en marcha.
- España se encuentra situada en la banda baja en lo referente a los precios de la energía eléctrica.
- El Tiempo de Interrupción Equivalente de la Potencia Instalada<sup>15</sup> (índice que mide la continuidad del suministro) se encuentra por encima de la media europea (2 h en 2006).

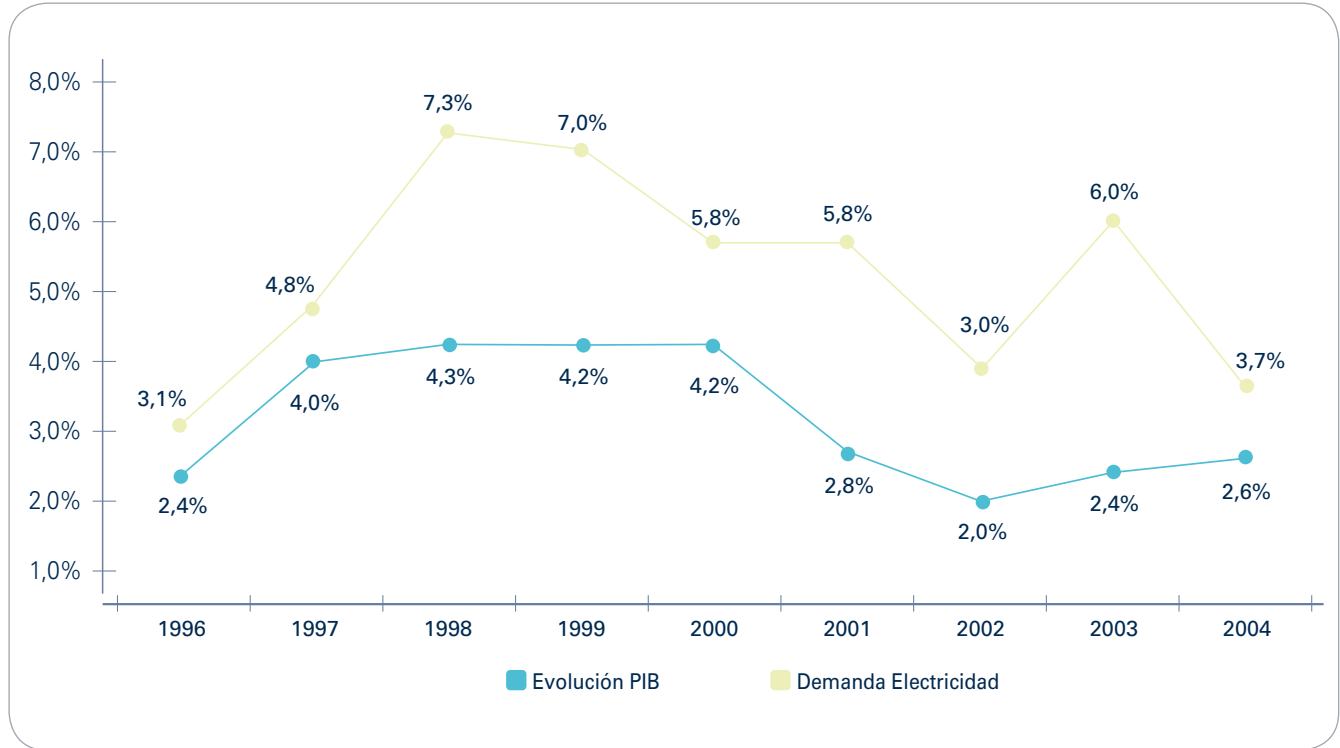
<sup>13</sup> Se define la intensidad energética como el consumo de energía por unidad de PIB, es decir, la cantidad de energía necesaria para obtener una unidad de producto.

<sup>14</sup> Equivalente a más de un centenar de grupos térmicos con una potencia de 400 MW con un régimen de funcionamiento de 7.000 h/año.

<sup>15</sup> De manera simplificada se puede decir que el TIEPI refleja el siguiente cociente "(potencia afectada por la interrupción x duración en horas de la interrupción) / potencia instalada en la zona". Se calcula anualmente (horas/años) y para una zona geográfica determinada.

FIGURA 8

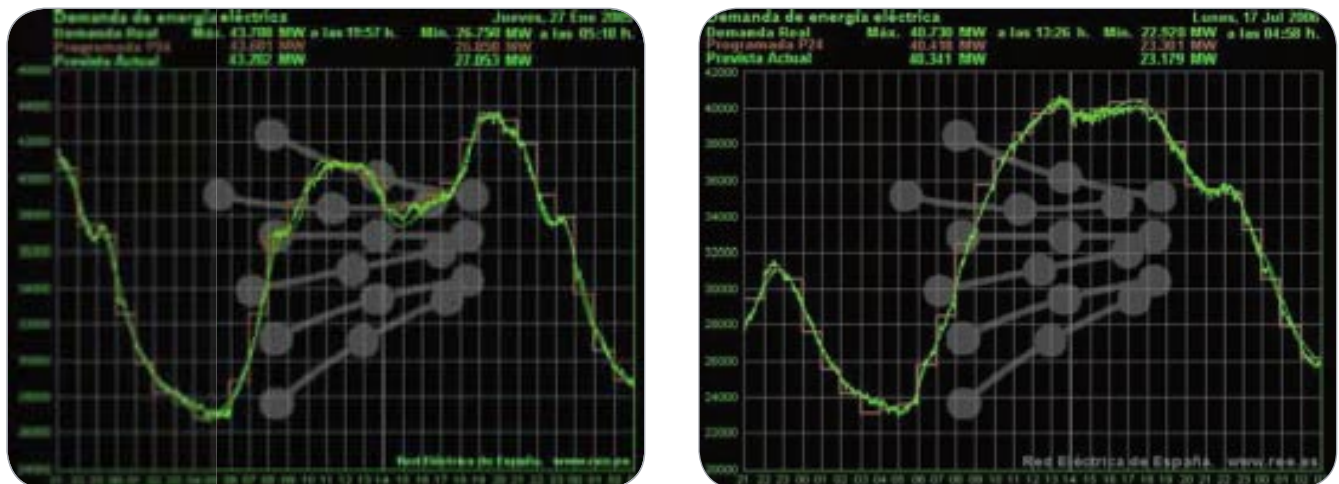
Tasa de crecimiento interanual PIB-demanda de energía eléctrica en España.



Fuente: Unión Nacional de Empresas, SA (UNESA).

FIGURA 9

Valores máximos de demanda de energía eléctrica.

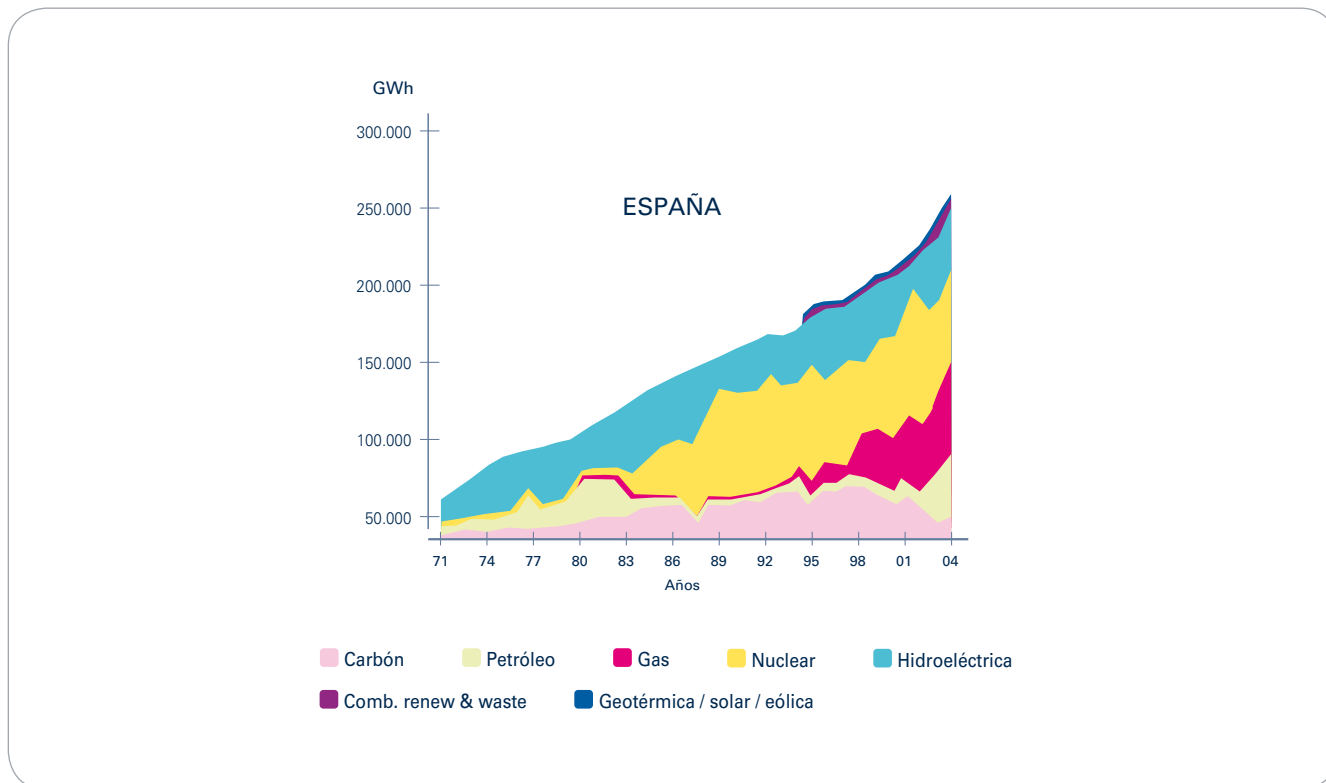


Fuente: REE.

- Tradicionalmente, la puntas anuales de demanda de energía eléctrica (instantáneas) tenían lugar en invierno (consumo de las calefacciones, menos horas de luz), pero desde hace unos años, coincidiendo con el periodo de bonanza económica que

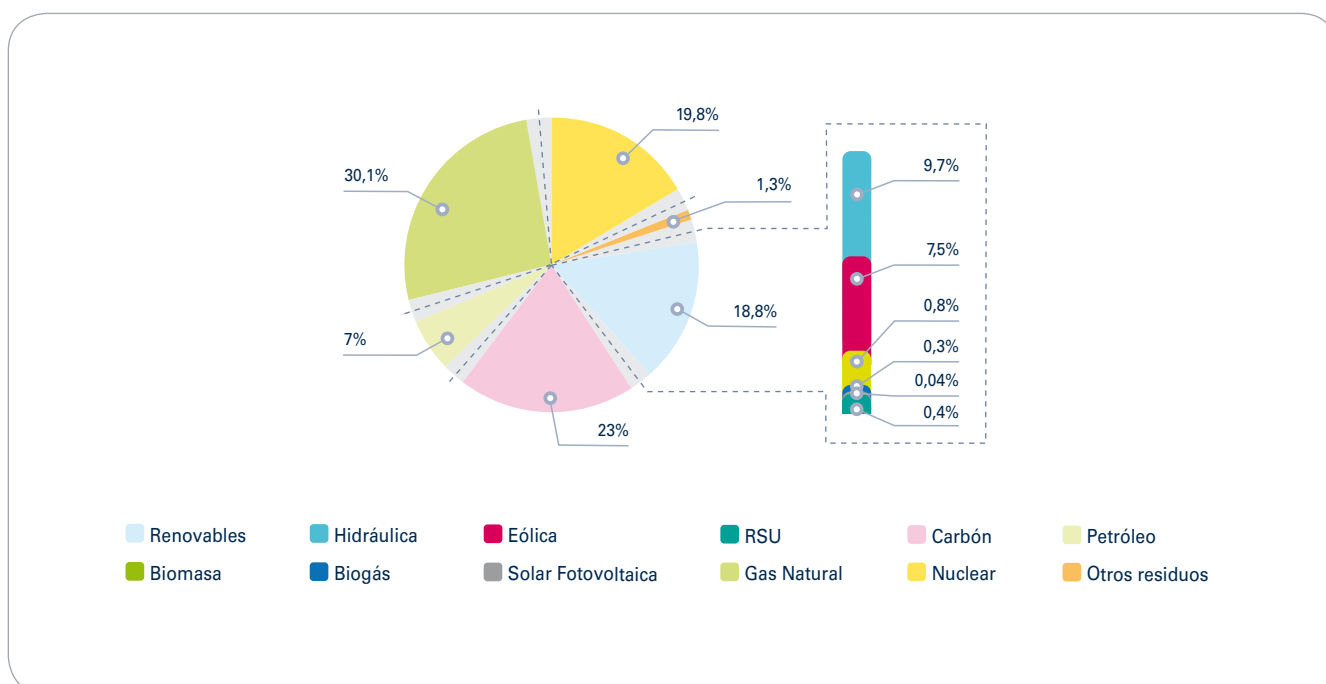
vive España (más aparatos de aire acondicionado, por ejemplo), las puntas de verano son prácticamente iguales a las del invierno. Así, la mayor punta invernal se produjo el jueves 27 de enero de 2005 con 43.708 MW y la estival el 17 de julio de 2006

FIGURA 10  
Evolución de la aportación de las fuentes de energía primaria a la producción de energía eléctrica 2004



Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA).

FIGURA 11  
Balance de las fuentes de energía primaria utilizadas para la producción de energía eléctrica 2006



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio / Instituto para de Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).



con 40.730 MW. En ambos casos la red de transporte funcionó con total normalidad y no se produjeron cortes en el suministro. En las imágenes de Red Eléctrica de España (REE) se observan ambos momentos.

Se analiza a continuación la situación de las principales fuentes de energía primaria utilizadas para la producción de energía eléctrica.

De las figuras 10 y 11 (evolución para el periodo 1971-2004 y foto fija correspondiente a 2006 de la aportación de las distintas fuentes de energía primaria a la producción de energía eléctrica) se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Hasta 2004, el carbón ha sido con diferencia la fuente con mayor peso. Desde entonces, el gas natural, cuyo uso para la producción de energía eléctrica se inició hace apenas diez años, lo ha superado.
- Los derivados del petróleo, al igual que en casi todo el mundo, cada vez se utilizan menos para producir energía eléctrica (se reservan para calefacción y transporte).
- La aportación hidráulica se mantiene constante desde mediados del siglo pasado en que se construyeron las últimas centrales, embalses y saltos de agua.
- La producción de origen nuclear se mantiene constante desde mediados de los años ochenta, en los que entró en vigor la moratoria nuclear<sup>16</sup> (1984). En los últimos años (con la subida del precio del petróleo) se ha reabierto el debate de la energía nuclear. Con el cierre definitivo de la central José Cabrera (propiedad de Gas Natural Fenosa). El pasado 30 de abril de 2006 después de 38 años de funcionamiento, en España quedan ocho unidades de producción nuclear.
- La producción a partir del gas natural (centrales de ciclo combinado) y de fuentes de origen renovable ha aumentado mucho en los últimos años y se espera que lo haga aún mucho más en el futuro.
- Aunque en 2006 la aportación de la biomasa, residuos sólidos urbanos, biogás y solar fotovoltaica fue mínima, se esperan espectaculares crecimientos para los próximos años.

TABLA 5

Comparativa España-UE de la aportación de diferentes fuentes a la producción de energía eléctrica.

2005	Nuclear	Renovables	Origen fósil
España	20%	10%	63%
UE	30%	5%	55%

Fuente: UE.

- En 2006 la fuente con mayor peso en la producción de energía eléctrica fue el gas natural (30%), seguida del carbón (23%) y la nuclear (20%). Los derivados del petróleo (7%), al igual que en la mayoría de países, casi no se utilizan (su aplicación mayoritaria es el transporte y la calefacción).
- En 2006, las fuentes de origen renovable supusieron casi el 20% (de ellas la eólica e hidráulica representaron el 92%).

Comparando estos datos con los medios de la UE, tenemos lo mostrado en la tabla 5.

A continuación se verá la potencia instalada en España de cada una de las tecnologías de producción de energía eléctrica. En la siguiente imagen se muestran y comparan el mix de producción<sup>17</sup> y la cobertura de la demanda<sup>18</sup> a fecha 30 de junio de 2007.

De su análisis es interesante comentar lo siguiente:

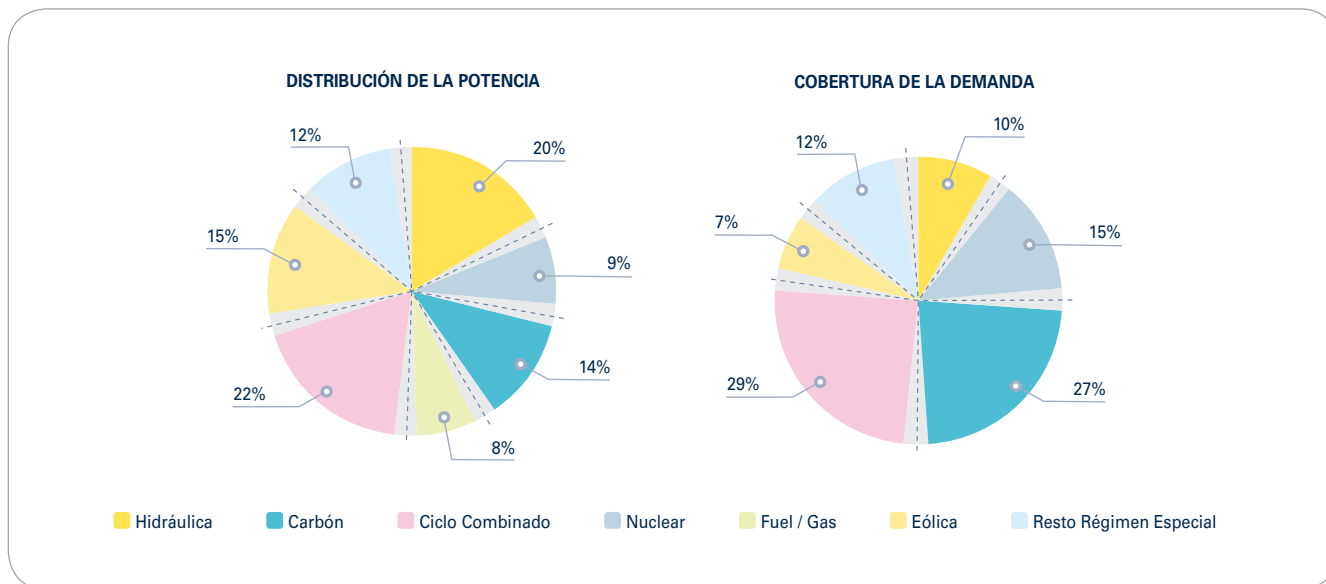
- El hecho de que el 20% de la potencia total instalada corresponda a la energía hidráulica no quiere decir que el 20% de la energía eléctrica generada provenga de ella. En el caso de 2007 (año no especialmente lluvioso) las centrales hidráulicas están funcionando por debajo de su capacidad nominal, y producen tan sólo el 10% de la energía total.

<sup>16</sup> Paralización de todos los proyectos para construir nuevas centrales.

<sup>17</sup> Cuánta potencia instalada hay de cada tecnología de producción (megavatios).

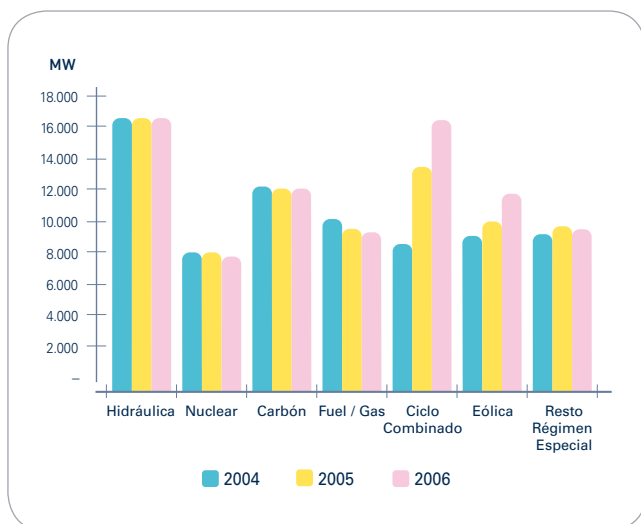
<sup>18</sup> Con cuánta energía ha contribuido cada tecnología a cubrir la energía eléctrica demandada (megavatios-hora).

**FIGURA 12**  
Distribución de la potencia instalada y de la cobertura de la demanda por tecnologías a 30.06.07



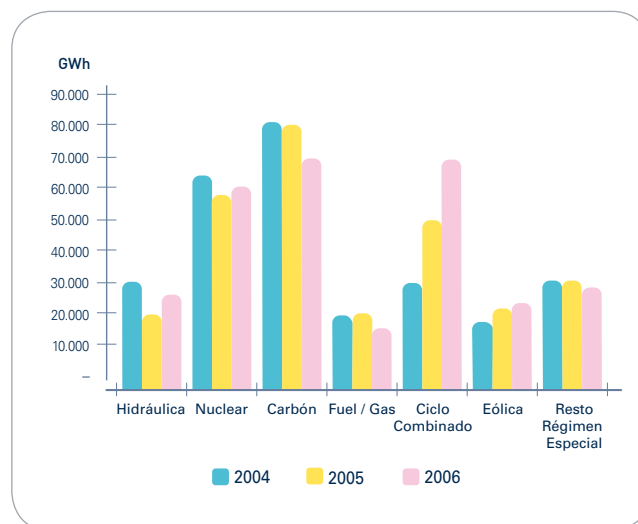
Fuente: REE.

**FIGURA 13**  
Evolución de la potencia instalada (megavatios) 2004-2006



Fuente: REE.

**FIGURA 14**  
Evolución de la cobertura de la demanda (gigavatios-hora) 2004-2006



Fuente: REE.

- Por el contrario, las centrales térmicas de carbón representan el 14% de la potencia instalada y, en lo que va de año 2007, son las responsable del 27% de la energía eléctrica producida.

De la comparación entre la evolución de la potencia instalada y la cobertura de la demanda en el periodo 2004-2006, lo más destacable es:

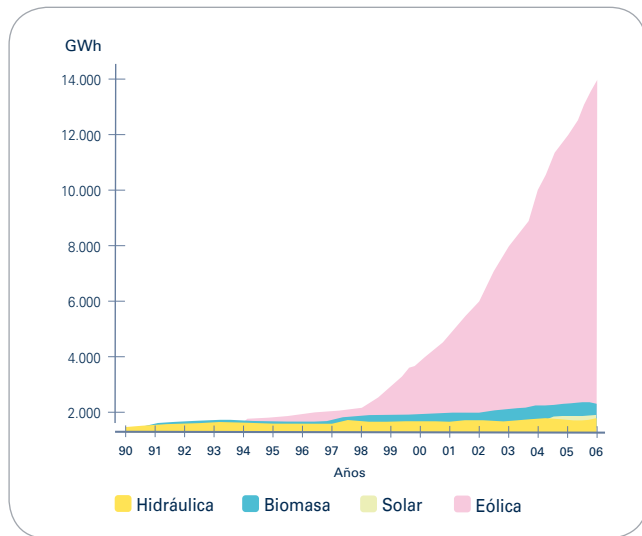
- El gran aumento de la potencia instalada (entrada en funcionamiento) y, en paralelo, de la energía producida (cobertura de la demanda) por las centrales de ciclo combinado y, en menor medida, eólicas. Algunas de las principales compañías eléctricas de este país han suscrito acuerdos de suministro a largo plazo con los principales países productores de gas natural del norte de África.

- La diferencia de energía anual producida en las centrales hidráulicas a pesar de que la potencia instalada se mantiene constante. Esto se debe al nivel de precipitaciones de cada año (2005 fue un año más seco que 2004 y 2006).
- La disminución de la aportación (cobertura de la demanda) del carbón en favor del gas natural (ciclos combinados) y la eólica a la producción de energía eléctrica.

Respecto a las fuentes de origen renovable, de las siguientes imágenes (evolución periodo 1990-2006 y situación a 31 de diciembre de 2006 de la potencia instalada y de la cobertura de la demanda) se extraen las siguientes conclusiones:

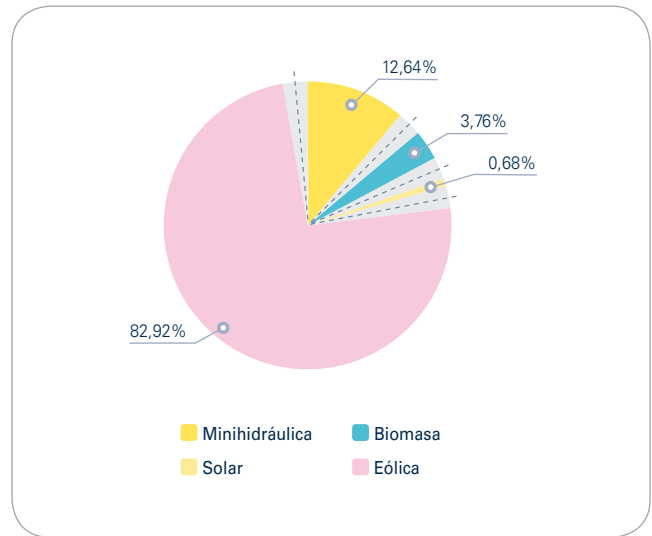
- Tanto la evolución de la potencia instalada como de la cobertura de la demanda han discurrido prácticamente en paralelo.

FIGURA 15  
Evolución de la potencia instalada 1990-2006



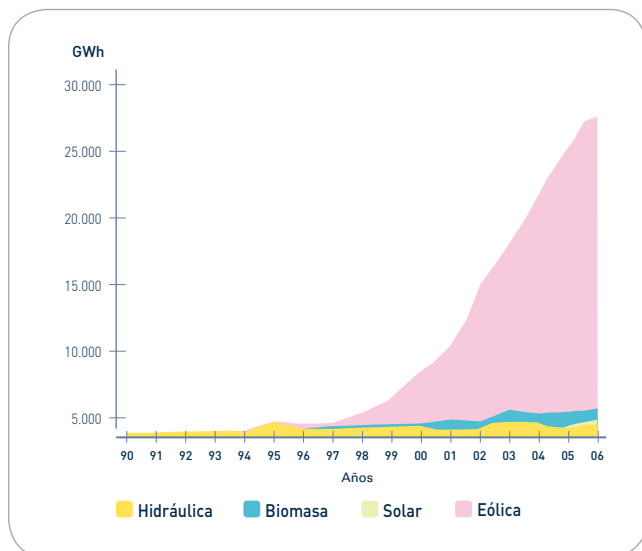
Fuente: CNE.

FIGURA 16  
Evolución de la cobertura de la demanda 1990-2006



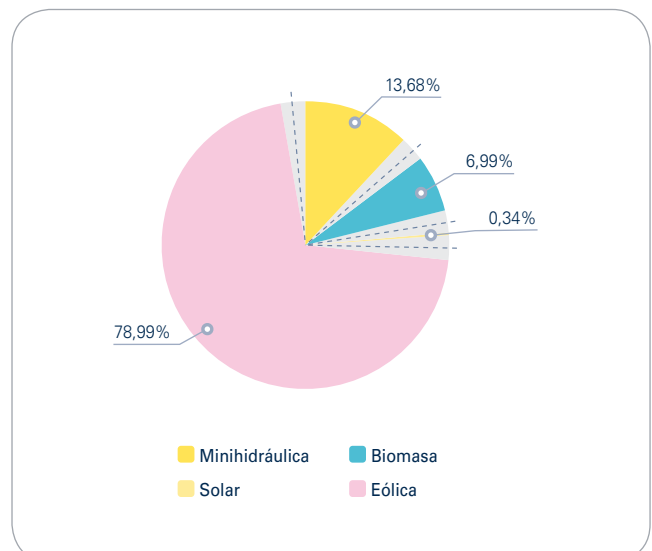
Fuente: CNE.

FIGURA 17  
Distribución de la potencia instalada a 31 de Diciembre 2006



Fuente: CNE.

FIGURA 18  
Distribución de la cobertura de la demanda a 31 de Diciembre 2006



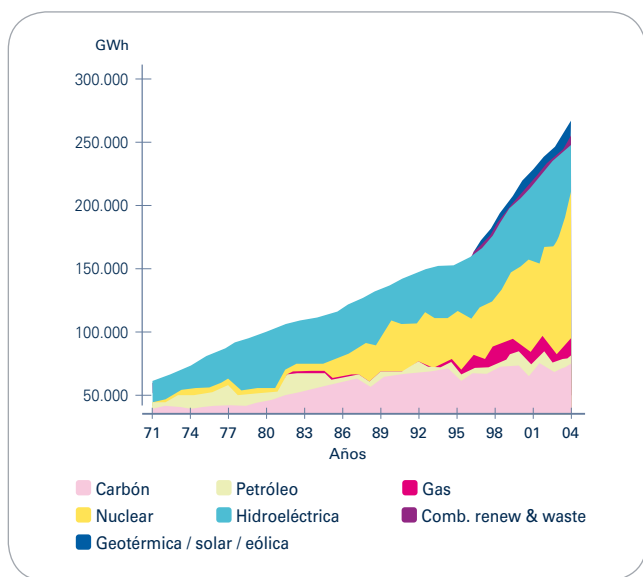
Fuente: CNE.

- Hasta mediados de los años noventa, en que empezó el espectacular desarrollo de la energía eólica, la única tecnología existente era la hidráulica.
- También a mediados de los años noventa, se produjo el inicio del desarrollo de la tecnología de combustión de la biomasa (madera y residuos vegetales).

Hasta el momento, ha aumentado más la producción eléctrica por esta tecnología que la potencia instalada.

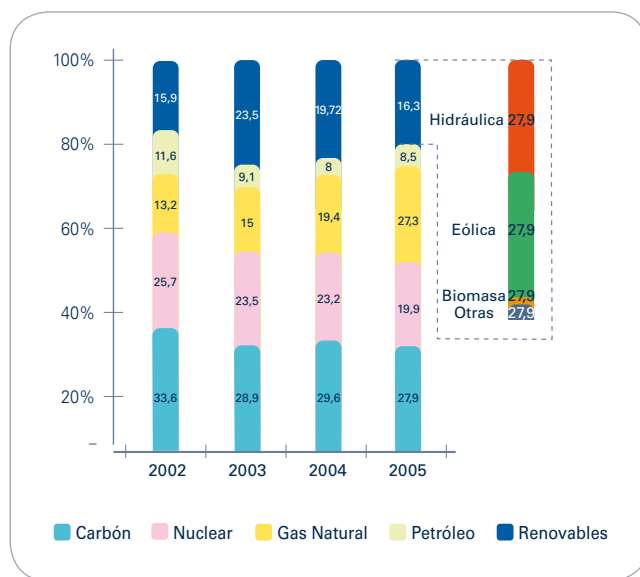
- Hace tan sólo dos años (2005) comenzaron a ponerse en servicio las primeras instalaciones solares para producción de energía eléctrica.

**FIGURA 19**  
Evolución de la cobertura de la demanda de energía eléctrica 1971-2004



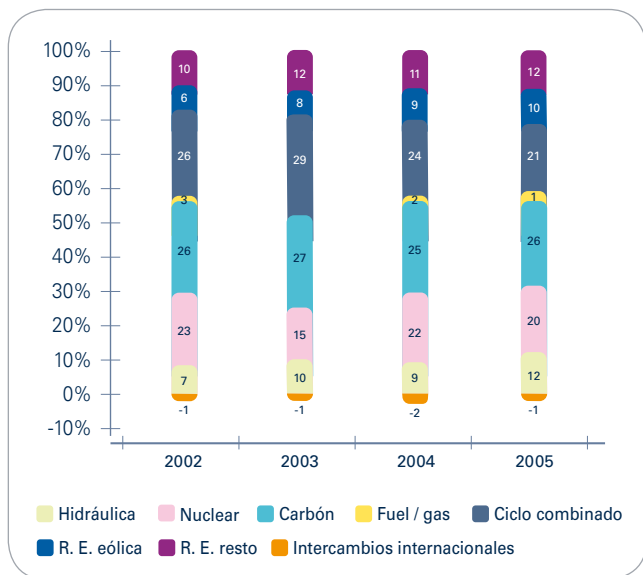
Fuente: EIA.

**FIGURA 20**  
Evolución de la cobertura de la demanda de energía eléctrica 2002-2005



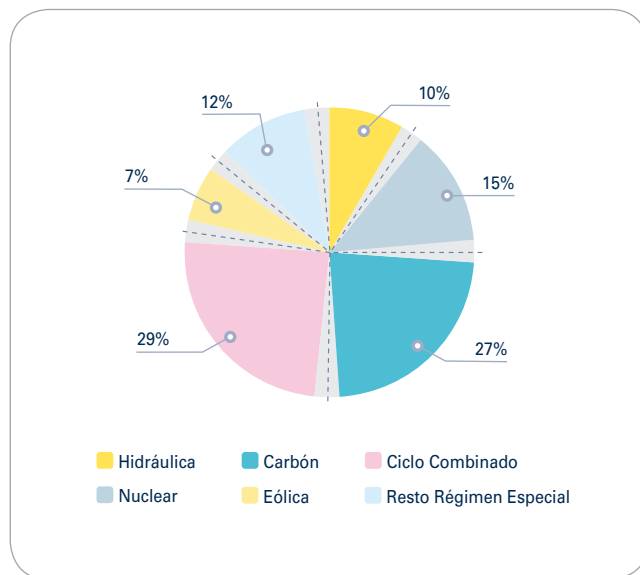
Fuente: IDAE, MITC.

**FIGURA 21**  
Evolución de la cobertura de la demanda de energía eléctrica junio 2006-junio 2007



Fuente: REE.

**FIGURA 22**  
Evolución de la cobertura de la demanda de energía eléctrica 2002-2005



Fuente: REE.

- El 31 de diciembre de 2006 la cuota (peso o porcentaje) de cada tecnología era muy similar en potencia instalada y cobertura de la demanda.

En lo relativo exclusivamente a la cobertura de la demanda, en las siguientes imágenes se muestra su evolución en cuatro horizontes temporales diferentes: 1971-2004, 2002-2005, junio de 2006-junio de 2007 y a 30 de junio de 2007.

De sus análisis se pueden extraer, entre otras, las siguientes conclusiones:

- Hace más de 30 años la fuente más utilizada era el agua (hidráulica), después lo fue el carbón y en estos momentos lo es el gas natural (ciclos combinados).
- La aportación en términos absolutos de la energía hidráulica se mantiene constante desde antes de los años setenta.
- La explosión en los últimos años de las centrales de ciclo combinado, que han pasado del 15% al 27% en 2003-2005.
- La gran influencia que tiene la hidraulicidad en el peso de las centrales hidráulicas. En 2003 (año muy lluvioso) la aportación de las fuentes de origen renovable (o lo que es lo mismo, la eólica y la hidráulica) fue del 23%, y pasó al 16% en 2005. Esta diferencia se debe exclusivamente a la segunda ya que la eólica suele producir todos los años lo mismo (o incluso más si se ponen nuevos parques en servicio).
- Al igual que en otros países del entorno, el despegue de la energía nuclear se produjo a principio de los años ochenta coincidiendo con las crisis del petróleo. Su aportación en términos absolutos se mantiene estancada desde mediados de los años ochenta (entraron entonces en servicio de los últimos reactores previstos).
- La aportación de las centrales térmicas de fuel es pequeña, pero se mantiene constante desde hace años.
- En cuanto a las fuentes de origen renovable, a pesar de los esfuerzos del Gobierno por fomentarlas, de que somos líderes mundiales en eólica (fabricación de aerogeneradores y potencia instalada) y de encon-

tramos en pleno desarrollo de la industria solar fotovoltaica, su aportación todavía (junto con la biomasa y residuos) es pequeña. En este sector lo mejor está por llegar. Para 2020 la UE ha acordado que el 20% de la energía total consumida provenga de estas fuentes. Se espera una gran explosión para los próximos años.

Hasta ahora todos los análisis se han hecho desde el punto de vista de la oferta de energía eléctrica (fuentes, potencia instalada, cobertura de la demanda, etc.). Si nos fijamos en la demanda, tenemos que el reparto entre sectores de la energía demandada en 2004 fueron los siguientes:

En cuanto a la actividad de producción de energía eléctrica en España, tal y como se desempeña en la actualidad, nació con la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico (LSE). Esta ley, pionera en el mundo, introdujo importantes novedades entre las que destacan:

- Obligar a las compañías eléctricas a separar jurídicamente sus actividades de producción, transporte, distribución y comercialización antes del 31 de diciembre de 2000. Así, por ejemplo, una empresa energética (EE) creaba una sociedad matriz de la que dependían EE Generación, EE Distribución y EE Comercial.
- Liberalizar las actividades de producción y comercialización (libre competencia; cualquiera pueda dedicarse a ellas).
- Mantener reguladas las actividades de transporte y distribución, y dejar que se continuen desempeñando en régimen de monopolio natural (por zonas geográficas). Se pensó que permitir la libre competencia en estas actividades (desplegar nuevas líneas que realizaran el mismo trayecto que las existentes) resultaría absurdo (como si una nueva empresa tendiera una segunda línea de alta velocidad entre Madrid y Sevilla).
- Nombrar a REE operador del sistema, es decir, la compañía encargada de la actividad de transporte.
- Crear el mercado mayorista de electricidad y su empresa gestora (OMEL). El mercado empezó a funcionar el 1 de enero de 1998, y es el punto de encuentro de vendedores (productores y agentes externos) y compradores (comercializadores, distribuidores, consumidores y agentes externos) de energía eléctrica<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> A finales de 2006 había 650 agentes operando en el mercado (50 comercializadoras y más de medio millar de productoras).

Desde la entrada en vigor de la Ley del Sector Eléctrico (LSE), los principales actores que operan en él y los papeles que desempeñan son los siguientes:

- **Productores.** La producción de energía eléctrica es una actividad liberalizada (abierta a la competencia) a la que cualquiera puede dedicarse. En España hay alrededor de 500 empresas que desempeñan esta actividad (25 en el régimen ordinario<sup>20</sup> y el resto en el régimen especial). El motivo por el que hay tantas empresas en este segundo régimen es el gran desarrollo del sector de las energías renovables, especialmente la fotovoltaica, con cientos de proyectos en marcha.

Las principales operaciones llevadas a cabo por estos agentes son:

1. Producir energía eléctrica en las centrales.
2. Inyectar dicha energía en las redes de transporte.

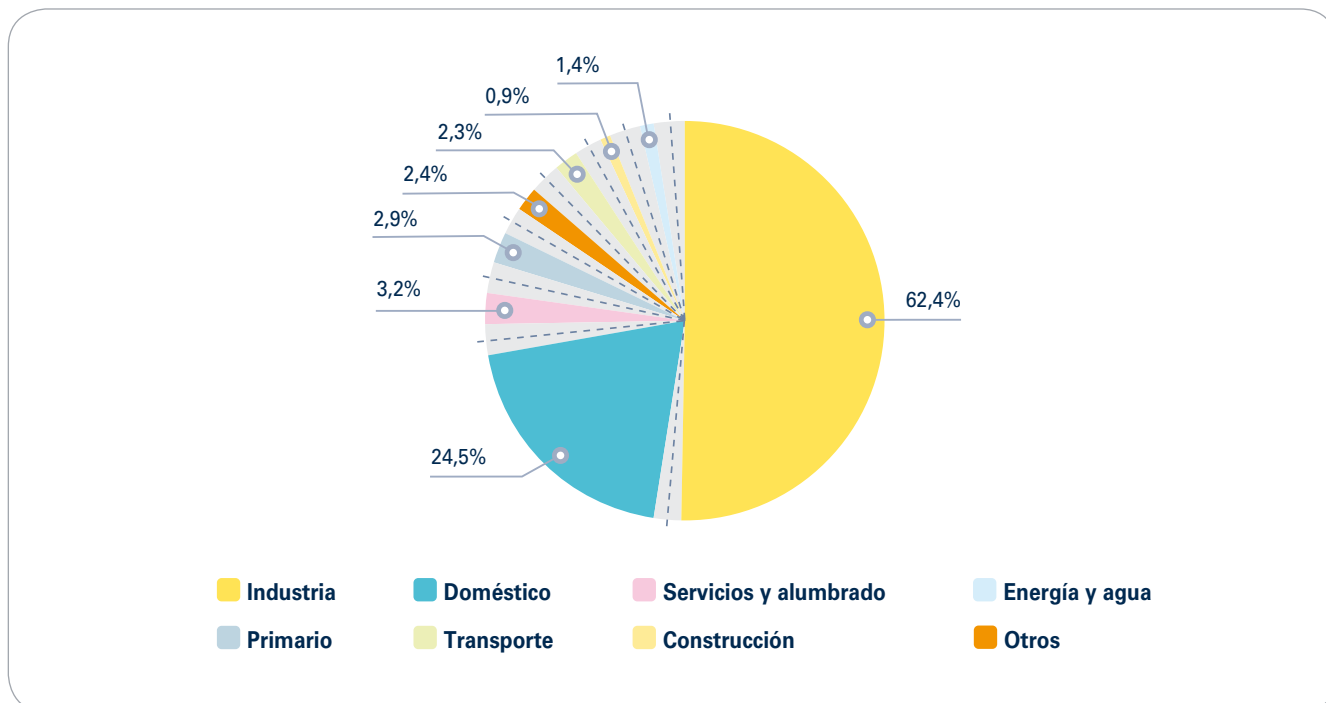
3. Vender la energía, para lo que disponen de dos vías principales:

- Acudiendo al mercado libre. El precio será el que marque la oferta y la demanda.
- Por medio de contratos bilaterales<sup>21</sup> de entrega física con el resto de agentes del mercado libre. El precio es el que libremente establezcan las partes.

En el caso particular de la producción de energía solar fotovoltaica, al encontrarse subvencionada (por ley tiene derecho a una retribución casi seis veces superior a la tarifa), vende su producción directamente a la empresa distribuidora propietaria de la red a la que se encuentra conectada la central.

- **Transportista.** El transporte de energía eléctrica es una actividad regulada que se lleva a cabo en régimen de monopolio. En España una única empresa es la

FIGURA 23  
Estructura del consumo de la energía eléctrica en España 2004

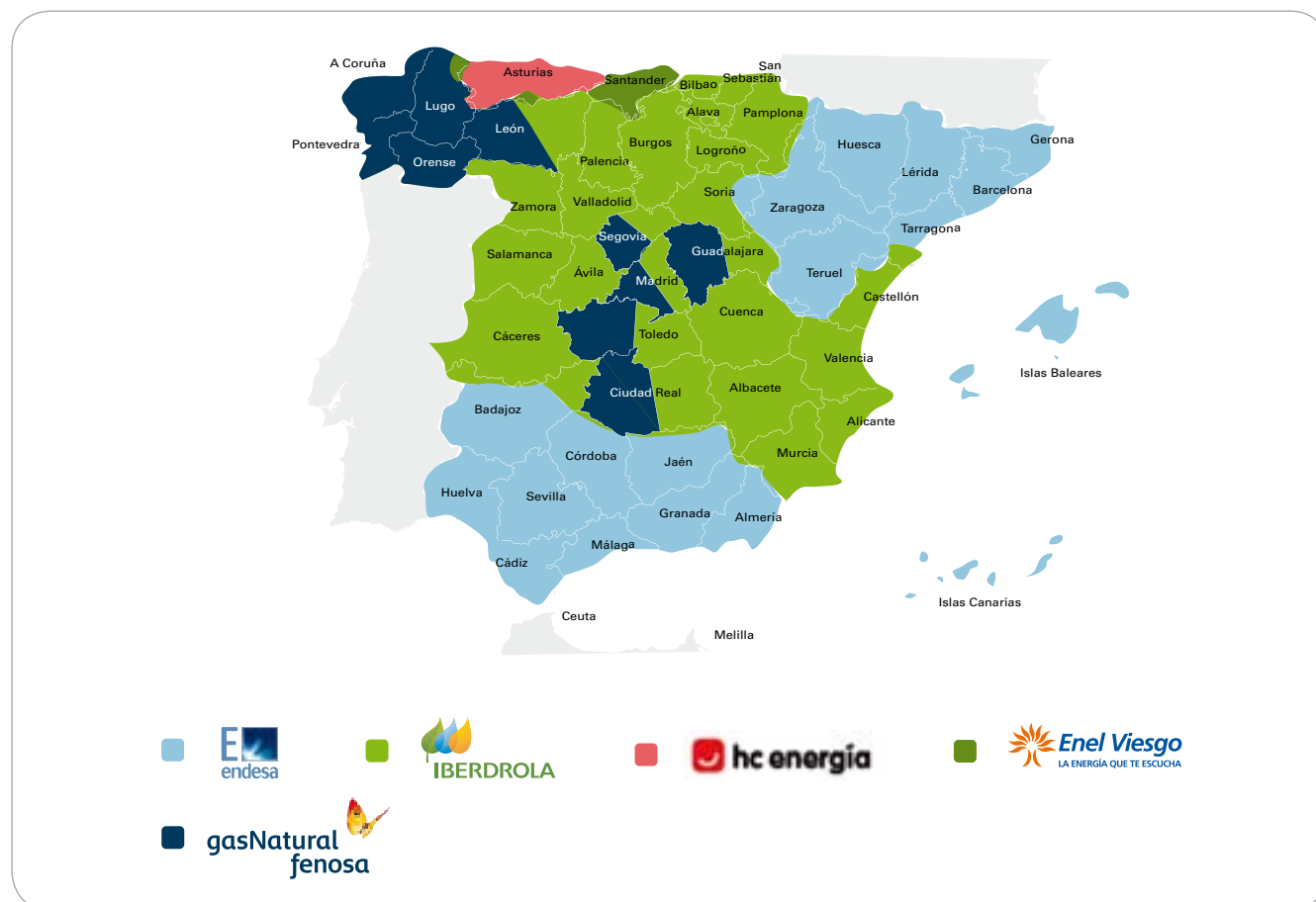


Fuente: Centrales Nucleares del Norte (Nuclenor).

<sup>20</sup> El Régimen Ordinario (RO) incluye las térmicas (carbón, fuel-oil y ciclo combinado), nucleares, hidráulicas y eólicas (de más de 50 MW de potencia). El Régimen Especial (RE) incluye las minihidráulicas, las de cogeneración, eólicas (de menos de 50 MW de potencia), fotovoltaicas, termosolares, biomasa, residuos,... Las del RE se diferencian del RO principalmente en el tratamiento (beneficios) económico del que gozan para el impulso de su desarrollo.

<sup>21</sup> Los productores, al igual que los distribuidores, comercializadores y consumidores podrán formalizar contratos bilaterales de entrega física con el resto de agentes del mercado. Su participación en este tipo de contratos será regulada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Para conocer más sobre este tipo de contratos se recomienda consultar la Orden ITC/400/2007 y la Resolución de 19 de abril de 2007, de la Secretaría General de Energía.

FIGURA 24  
Reparto “natural” del mercado entre las principales empresas de distribución.



Fuente: REE.

responsable de esta actividad: Red Eléctrica de España (REE). Ésta es la garante de la continuidad y seguridad del suministro eléctrico en muy alta tensión (400 kW – 220 kW) y de la coordinación entre la producción y el transporte. A diferencia de los productores, distribuidores, comercializadores y consumidores, REE ni compra ni vende energía eléctrica.

- **Distribuidores.** La distribución de energía eléctrica es una actividad regulada que se lleva a cabo en régimen de monopolio natural (cada empresa es la única autorizada a distribuir en su zona de influencia).

En España hay alrededor de 325 empresas que llevan a cabo esta actividad, la mayoría pequeñas empresas circunscritas a comarcas o poblaciones rurales.

Las principales operaciones realizadas por estos agentes son:

1. Tomar la energía eléctrica en los puntos frontera con las redes de REE u otras empresas más grandes y distribuirla hasta entregarla en los puntos de consumo.
2. Comprar energía, para lo cual tienen dos vías:
  - Acudir al mercado libre. El precio será el que marque la oferta y la demanda.
  - Por medio de contratos bilaterales<sup>22</sup> de entrega física con el resto de agentes del mercado libre. El precio será el que libremente establezcan las partes.

<sup>22</sup> A Los distribuidores, al igual que los productores, comercializadores y consumidores podrán formalizar contratos bilaterales de entrega física con el resto de agentes del mercado. Su participación en este tipo de contratos será regulada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

3. Vender dicha energía a sus clientes (se denominan consumidores acogidos a tarifa). El precio que pueden cobrar (tarifa) está fijado por el Gobierno mediante un real decreto.

- **Comercializadores.** La comercialización de energía eléctrica es una actividad liberalizada (abierta a la competencia) a la que cualquiera puede dedicarse. En agosto de 2007 había 50 empresas en España que llevaban a cabo esta actividad.

Las principales operaciones realizadas por estos agentes son:

1. Comprar energía, para lo que tienen dos vías:

- Acudiendo al mercado libre. El precio será el que marque la oferta y la demanda.
- Por medio de contratos bilaterales<sup>23</sup> de entrega física con el resto de agentes del mercado libre. El precio será el que libremente establezcan las partes.

2. Vender dicha energía a sus clientes (consumidores acogidos al régimen de mercado). El precio es el que libremente establezcan las partes.

- **Consumidores.** A finales de junio de 2006 había 25.600.000 de consumidores.
- **Regulador.** Esta actividad la desempeña la Comisión Nacional de la Energía (CNE), que depende del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y, a su vez, del Gobierno. Entre sus competencias, destaca la de velar por una efectiva competencia en los sectores energéticos, por la objetividad y la transparencia de sus funcionamiento.
- **Operador del mercado mayorista.** Esta actividad la desempeña la Compañía Operadora del Mercado Eléctrico (OMEL). Una de las principales tareas de este operador debería ser lograr la convergencia entre los precios de mercado (los que alcanza la energía eléctrica en el mercado libre) y los marginales (los que realmente cuesta producir cada kilovatio que se negocia). Entre sus funciones destacan: la gestión económica del sistema de ofertas de compra y venta en el mercado libre, y la liquidación de todas las transacciones llevadas a cabo entre los distintos agentes participantes.

En cuanto a la normativa que rige la actividad de producción de energía eléctrica, en el apartado séptimo del capítulo dedicado a la actividad de la comercialización (nº 14) se puede consultar la Legislación vigente en el sector eléctrico español (leyes, reales decretos y órdenes ministeriales).

## 7. Futuro de la actividad de producción de energía eléctrica

A modo de resumen, algunos de los aspectos que tendrán incidencia en el futuro del sector eléctrico y, en particular, en la generación de energía eléctrica serán los siguientes:

### • Oferta

1. Garantía del suministro y fluctuación de los precios de las fuentes de origen fósil, especialmente el petróleo y el gas natural.
2. Modificación del mix de generación hacia fuentes renovables en detrimento de las de origen fósil.
3. Apoyo (económico, administrativo, político, etc.) al desarrollo de una industria de las energías renovables autosuficiente, es decir, que no requiera de subvenciones públicas para su supervivencia. Por todos los beneficios que representa, la aportación de las fuentes de origen renovable ha de crecer sensiblemente en un futuro inmediato.
4. Continuar trabajando para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), especialmente el CO<sub>2</sub>.
5. Explotación de tecnologías de "carbón limpio". La tecnología más desarrollada en estos momentos es la de "ciclos combinados de gasificación integrada" (IGCC). En ella el carbón es convertido en combustible gaseoso, y su combustión no emite GEI.
6. Utilización del hidrógeno para la producción de energía eléctrica (en fase de Investigación y Desarrollo I+D).
7. Reactivación de proyectos de energía nuclear toda vez que la opinión pública los acepte.

<sup>23</sup> Los comercializadores, al igual que los productores, consumidores y distribuidores podrán formalizar contratos bilaterales de entrega física con el resto de los agentes del mercado. Su participación en este tipo de contratos será regulada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.



• **Demanda**

1. Concienciación mundial (organismos, empresas, gobiernos, ciudadanos) para tratar de contener el cambio climático.
2. No saturación de las infraestructuras para que no se produzcan cortes en el suministro a los consumidores.
3. Reducción (ahorro) y uso eficiente de la energía eléctrica.
4. Un nuevo Protocolo (Kioto II), sobre el que ya se está trabajando, que incluya a los sectores que más GEI emiten: transporte y residencial.
5. Fomentar el reciclaje.
6. Concretamente en España, mejorar la productividad y con ello reducir la intensidad energética para así poder lograr los objetivos de emisión de CO<sub>2</sub> comprometidos con la firma del Protocolo de Kioto.

## 8. Enlaces de interés

A continuación se muestran algunas de las direcciones de Internet en las que se puede consultar la Legislación y ampliar la información presentada en este capítulo.

Gas Natural Fenosa  
[www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)

Red Eléctrica de España  
[www.ree.es](http://www.ree.es)

UNESA  
[www.unesa.es](http://www.unesa.es)

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio  
[www.mityc.es](http://www.mityc.es)

Secretaría General de la Energía del Ministerio  
[www.mityc.es/Energia/](http://www.mityc.es/Energia/)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía  
[www.idae.es](http://www.idae.es)

Oficina española para el cambio climático  
[www.mma.es/oecc](http://www.mma.es/oecc)

Comisión Nacional de la Energía  
[www.cne.es](http://www.cne.es)

Operador del Mercado Eléctrico  
[www.omel.com](http://www.omel.com)

Consejo de seguridad nuclear  
[www.csn.es](http://www.csn.es)

Ministerio de Medio Ambiente  
[www.mma.es](http://www.mma.es)

Normativa básica del sector eléctrico  
[www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Legislacion/Basica/](http://www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Legislacion/Basica/)

Listado de Productores R. Ordinario  
[www.mityc.es/Electricidad/Seccion/ProductoresOrdinario/Estructura/](http://www.mityc.es/Electricidad/Seccion/ProductoresOrdinario/Estructura/)

Listado de Productores R. Especial  
[www.mityc.es/Electricidad/Seccion/ProductoresEspecial/Estructura/](http://www.mityc.es/Electricidad/Seccion/ProductoresEspecial/Estructura/)

Listado de Distribuidores  
[www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Distribuidores/Distribuidores/](http://www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Distribuidores/Distribuidores/)

Listado de Comercializadores  
[www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Distribuidores/Comercializadores/](http://www.mityc.es/Electricidad/Seccion/Distribuidores/Comercializadores/)

Asociación empresarial eólica  
[www.aeeolica.org](http://www.aeeolica.org)

Asociación de Productores de Energías Renovables  
[www.appa.es](http://www.appa.es)

Sociedad nuclear española  
[www.sne.es](http://www.sne.es)

El Protocolo de Kioto  
[www.icex.es/protocolokioto/default.htm](http://www.icex.es/protocolokioto/default.htm)

Energía en la UE  
<http://europa.eu/scadplus/leg/es/s14000.htm>

Agencia Internacional de la Energía  
[www.iea.org](http://www.iea.org)

Consejo mundial de la energía  
[www.worldenergy.org/wec-geis/](http://www.worldenergy.org/wec-geis/)

Organización de países exportadores de Petróleo  
[www.opec.org](http://www.opec.org)

Visita guiada sobre la energía eólica  
[www.windpower.org/es/tour](http://www.windpower.org/es/tour)

Foro nuclear  
[www.foronuclear.org](http://www.foronuclear.org)





## 13 | Innovación Tecnológica

## Resumen ejecutivo

300

El encarecimiento de las fuentes tradicionales de energía, y las teorías que achacan el calentamiento global a las emisiones antropogénicas de GEF, orientan los objetivos de los programas de I+D+i en energía hacia el desarrollo de un sistema energético sostenible y nutrido por recursos autóctonos (renovables) o ampliamente disponibles en el mercado mundial (carbón y nuclear). Sobre estas bases, se identifican áreas de mejora sobre las que articular un desarrollo coherente de las tecnologías, en función de las capacidades y necesidades existentes.

Desde la UE se advierte de la imposibilidad de liderar todos los aspectos del desarrollo tecnológico en energía y se recomienda internacionalizar las iniciativas nacionales. En los planes europeos se identifican las siguientes innovaciones a corto plazo (antes del fin de 2010):

- **Biomasa.** Co-combustión, mejora de la eficiencia, reducción relativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen fósil por unidad de energía útil producida.
- **Eólica.** Energía offshore e integración de sistemas en la red. Calidad de la energía entregada.
- **Fotovoltaica.** Disponibilidad de silicio a costes razonablemente menores e innovación en fabricación. Coletores de concentración.
- **Solar térmica de concentración.** Almacenamiento de larga duración e innovación en sistemas de transmisión de calor.
- **Tecnologías limpias del carbón.** Gasificación, poligeneración en grandes centrales, secuestro de CO<sub>2</sub> por absorción con metanol-etanol-aminas y desarrollo de técnicas de valorización de CO<sub>2</sub>.
- **Solar térmica de media y baja temperatura.** Frío solar (absorción y adsorción), desalinización, nuevos diseños y aplicaciones industriales de la energía solar.
- **Combustibles renovables.** Estandarización, bioetanol, biodiesel y combustibles sintéticos (Fischer-Tropsch).
- **Redes energéticas inteligentes.** Integración a gran escala de energías renovables.
- **Eficiencia energética.** Aumento de la reutilización de calores residuales, innovación energética en pymes e industria y poligeneración integrada con energías renovables.

También se considera el potencial de otras energías renovables como la energía solar térmica de concentración (especialmente en España), la energía hidroeléctrica, la energía geotérmica y la energía de los océanos. Es importante, por otra parte, destacar la importancia de introducir y desarrollar los conceptos de eficiencia energética, ya que resulta la forma más barata y sencilla de reducir la dependencia energética y el gasto de los Estados miembros.

España no es una excepción dentro de la I+D europea: en algunos campos destaca y en otros se está haciendo un esfuerzo por converger con el estado del arte a nivel europeo; aún existen campos en los cuales la presencia de desarrollo español es testimonial.

Por tecnologías, la I+D y la innovación energética se pueden resumir como sigue:

- **Eficiencia energética.** Es importante facilitar un mercado energético receptivo a las nuevas tecnologías de generación. Se identifican como sectores de atención preferente el transporte y la vivienda. Las actuaciones destacadas se localizan en arquitectura bioclimática y poligeneración.
- **Energía eólica.** A pesar de su importancia a nivel mundial, destaca la poca participación española en proyectos de I+D de referencia a nivel europeo, así como el estancamiento de la energía eólica marina, si bien recientemente se ha publicado normativa que crea ciertas expectativas de negocio a medio plazo, lo cual, sin duda, promoverá desarrollo tecnológico específico y multidisciplinar. Como aspecto positivo destaca el proyecto CENITWindlider 2015. Las actividades que se consideran más necesarias a corto plazo son relativas a predicción eólica, calidad de la energía y eólica marina.
- **Energía solar.** Hay que prestar una atención preferente dada la climatología española. España lidera el desarrollo de la energía solar de concentración. En cuanto a las aplicaciones fotovoltaicas, la investigación se orienta a medio-largo plazo dada la necesidad de acometer una reducción drástica de costes. Es decir, las actuaciones prioritarias se encuentran en las áreas de solar térmica de concentración. Reducción de costes del silicio cristalino/oblea.
- **Biomasa.** Ésta es la energía renovable menos explotada en España. El problema, más que tecnológico, radica en la ausencia de cadenas de producción-distribución, ya que tecnologías como la gasificación y la digestión y co-digestión anaerobia son viables y demostradas como para ser ampliamente aplicadas. Por otro lado, ya implantada en la industria la primera

generación, se trabaja en los biocarburantes de segunda generación. Recientes desarrollos legales, como el Real Decreto 661/2007 de Régimen Especial y el RITE, crean un entorno favorable al uso de la biomasa como combustible para cogeneración y climatización. La gasificación y co-gasificación para usos térmicos y termoeléctricos, con cinco proyectos de grado más o menos demostrativo, y alguno de ellos ya comercial, tiene un gran potencial de introducción masiva en el mercado a muy corto plazo.

- **Pilas de combustible, hidrógeno.** Aunque se echa de menos un plan nacional de desarrollo que entronque con los objetivos europeos de economía del H<sub>2</sub>, existe cierta actividad en el campo de la integración de pilas en sistemas de emergencia y en transporte por carretera. Se considera prioritario trabajar en producción limpia de hidrógeno y fabricación de pilas en España.
- **Tecnologías limpias del carbón.** Respecto a las técnicas de captura y secuestro, el proyecto CENIT

CO<sub>2</sub> es un factor fundamental para que España alcance el desarrollo tecnológico de otros países europeos. Por otro lado, la participación española en proyectos europeos e internacionales es bastante reducida en este campo. Puesto que el uso limpio del carbón es estratégico para la independencia energética de nuestro país, las actuaciones más deseables serían la implementación de nuevas técnicas de eficiencia y captura de CO<sub>2</sub>.

- **Energía nuclear.** Una vez comenzado el desarrollo del ITER en la UE (Francia), el principal interrogante es el futuro de la energía de fisión, que cuenta con grandes problemas de aceptación, si bien el debate nuclear se ha reabierto. Si se superan estas trabas, la presencia de centrales en el territorio español facilitará la instalación de nuevas centrales. Las actuaciones en este campo pasan por un amplio debate social, la tecnología de fusión, la puesta a punto comercial de la fisión de tercera generación y de neutrones rápidos.

## Glosario de términos

4PM, 5PM, 6PM, y 7PM	Cuarto, Quinto, Sexto y Séptimo Programa Marco.
Bioenergía	Biomasa en sentido amplio.
CCS	Captura y secuestro de CO <sub>2</sub> .
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.
CENIT	Consortios Estratégicos Nacionales en Investigación Técnica.
CTE	Código Técnico de la Edificación.
DG RESEARCH	Dirección General de Investigación de la UE.
DGTREN	Dirección General de Energía y Transporte de la UE.
E4	Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España.
EEl	Espacio Europeo de Investigación (ERA en siglas inglesas).
EURATOM	Comunidad Europea de la Energía Atómica.
GEI	Gases de efecto invernadero.

IGCC	Gasificación integrada en ciclo combinado.
ITER	Reactor Termonuclear Experimental Internacional.
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia.
MICYT	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
MEASNET	Red Europea de Medida de Energía en el Viento.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
PAE4	Plan de Acción de la E4 2005-2007.
PAE4+	Plan de Acción de la E4 2008-2012.
PER 2005 - 2010	Plan de Energía Renovable en España 2005-2010.
PROFIT	Programa de Fomento de la Investigación Técnica.
SoG-Si	Silicio de grado solar.
UE	20%, 10%, 63%.

## Referencias

302

- [1] The State and Prospects of European Energy Research Comparison of Commission, Member and Non-Member States' R&D Portfolios. Comisión Europea, 2006, EUR 22397
- [2] Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond. Final report of the Biofuels Research Advisory Council. Comisión Europea, 2006, EUR 22066
- [3] Further task for future European Energy R&D. Comisión Europea, 2006, EUR 22395
- [4] 6.1 Sustainable energy systems. Work Programme. Comisión Europea, 2003
- [5] FP7 Cooperation Work Programme: Theme 5 - Energy. Call Fiche. RTD. Comisión Europea, 2007
- [6] FP7 Cooperation Work Programme: Theme 5 - Energy. Call Fiche. TREN. Comisión Europea, 2007
- [7] Key task for future European Energy R&D. Comisión Europea, 2005, EUR 21352
- [8] Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España. IDAE
- [9] Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. IDAE

## 1. Innovación energética

La innovación en materia energética se entiende como la introducción masiva de nuevas tecnologías, que han demostrado previamente su validez y fiabilidad técnica, así como su prevalencia en términos económicos respecto a sus predecesoras.

Es decir, la innovación es posible tras la fase de demostración, y ésta viene precedida de un desarrollo tecnológico.

Por tanto, las tecnologías energéticas más innovadoras a corto plazo son aquellas que recientemente han sido o están siendo objeto de investigación y desarrollo en la actualidad.

Debido a los elevados costes de desarrollo y maduración de las nuevas tecnologías, u optimización de las existentes, los avances sólo se producen en las áreas con un fuerte apoyo económico público, ya sea europeo, ya sea nacional.

El apoyo público a la I+D no es un hecho aislado y que se genera espontáneamente, sino que es la herramienta principal de los planes de fomento o promoción I+D europeos y nacionales.

No obstante, la I+D no es suficiente para innovar. La creación de entornos legales, económicos, fiscales, etc., favorables que estimulen o faciliten la adopción de nuevas tecnologías energéticas son fundamentales para que las tecnologías probadas se implanten y desplacen a las obsoletas.

## 2. I+D+i en energía en Europa

El 6PM terminó el 31 de diciembre de 2006, iniciándose el 7PM el 1 de enero de 2007. Es decir, que antes de terminar el predecesor, la UE, junto con los Estados miembros, grupos de expertos y representaciones de sectores industriales, han desarrollado los términos generales del 7PM, como sucesor.

Los resultados a corto plazo del 6PM son las tecnologías que se implantarán de 2007 a 2010, es decir, las que damos en denominamos innovadoras a la fecha de publicación de este documento.

### 2.1. Sexto Programa Marco en materia energética

#### Prioridades y resultados

Los proyectos de ámbito energético en el 6PM se han dividido en dos líneas, dependiendo del plazo en que se esperan resultados. De esta forma:

- Líneas de investigación con resultados a corto plazo (horizonte 2010) (Dirección General de Energía y Transporte, DG TREN).
- Investigación a largo plazo, más estratégica (Dirección General de Investigación, DG RESEARCH).

La investigación en temas energéticos en el 6PM ha estado encuadrada dentro del área temática llamada desarrollo sostenible, cambio planetario y ecosistemas (Sustainable Development, Global Change and Ecosystems). Las subprioridades del área temática fueron:

- Sistemas energéticos sostenibles (*Sustainable Energy Systems*).
- Transporte de superficie sostenible (*Sustainable Surface Systems*).

- Cambio planetario y ecosistemas (*Global Change and Ecosystems*).

La primera está relacionada con la generación y distribución energética, mientras que la segunda centra su interés en el transporte, que tiene un gran peso específico en el balance energético europeo. La última de las subprioridades, centrada en el cambio climático, no trata la energía como tal, sino los efectos de la extracción, transporte, transformación y consumo final de la energía sobre el ecosistema y el clima en el planeta.

Para el desarrollo del 6PM se ha contado con un presupuesto total de 16.270 M€. De éstos, la partida presupuestaria destinada a desarrollo sostenible, cambio planetario y ecosistemas ha sido de 2.329 M€ (divididos por subprioridades en: 810 M€ para energía, 610 M€ para el transporte y 700 M€ para el cambio climático y ecosistemas).

Dentro de dicha área se han financiado 408 proyectos a lo largo de todo el programa marco, de los que a 2005 se contabilizaban 201 correspondientes a Sistemas energéticos sostenibles, que se agrupan, por áreas temáticas, en la tabla 1.

Es notorio el interés de los consorcios europeos en desarrollar el par tecnológico formado por hidrógeno y pila de combustible, que capta más del 40% de los fondos con sólo un 25% de los proyectos. Es decir, que tienen un volumen unitario mayor que la media.

Como muestra de proyectos en esta área, y especialmente en cuanto al par H<sub>2</sub>-pila, se puede mencionar HYCHAIN<sup>1</sup>, que está desplegando varias flotas de vehículos, accionados mediante pilas de combustible innovadoras, en cuatro regiones de otros tantos países de Europa (Francia, España, Alemania e Italia) operando con H<sub>2</sub> como combustible. Dichas flotas están basadas en plataformas de tecnología modular, similar para diferentes aplicaciones, con el objetivo principal de lograr un volumen suficientemente grande de vehículos (por encima de 150) para obtener en términos industriales una posible reducción de costes y superar barreras sectoriales y regionales. Este proyecto está pensado para iniciar una nueva etapa en el sector del transporte y, por ello, los primeros casos de desarrollo sostenible para H<sub>2</sub> basado en pilas de combustible en Europa se iniciarán en lugares donde se tengan las mayores probabilidades de continuar y crecer más allá del ámbito del proyecto.

En I+D relacionada con biomasa e hidrógeno se puede mencionar CHRISGAS<sup>2</sup>, liderado desde Suecia, que pretende

TABLA 1  
Número de proyectos y fondos concedidos en el área energética del 6PM.

Área	Nº de proyectos	Fondos concedidos 6PM	
		M€	%
Fotovoltaica	19	75,73	10,90%
Bioenergía	30	127,36	18,33%
Eólica	10	31,59	4,55%
Geotérmica	5	13,36	1,92%
Océanos	7	14,03	2,02%
Solar concentración	6	10,33	1,49%
Pilas de combustible	33	153,92	22,15%
Captura y secuestro CO <sub>2</sub>	18	68,71	9,89%
Hidrógeno	38	125,69	18,09%
Integración en red	15	50,54	7,27%
Socioeconomía	20	23,59	3,39%
<b>Total</b>	<b>201</b>	<b>694,85</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

desarrollar para 2009 un proceso de producción de gas de síntesis rico en H<sub>2</sub> a gran escala (18 megavatios) mediante la gasificación húmeda de biomasa sólida, seguida de un *upgrading*, una limpieza y un reformado con vapor.

El segundo lugar, por número de proyectos y por fondos concedidos, corresponde a bioenergía. Este hecho está en línea con la política europea de fomentar tanto la biomasa sólida como los biocarburantes, como alternativa parcial a los

<sup>1</sup> <http://www.hychain.es/glance/summary.htm>

<sup>2</sup> <http://www.chrisgas.com/>

combustibles fósiles y como nuevo negocio para el excedentario sector agrícola de la UE. Los avances más importantes se han producido en este último sector y se han puesto en práctica muy rápidamente con la puesta en el mercado de la primera generación de tecnologías de producción de biocarburantes, iniciándose el trabajo de desarrollo de la segunda generación.

Un ejemplo de estas líneas de I+D es el proyecto RENEW<sup>3</sup>, liderado por Volkswagen, que se centra en el desarrollo de la segunda generación de biocombustibles para motores modernos de combustión interna, básicamente a partir de biomasa lignocelulósica, y producción piloto de los más prometedores.

Con un presupuesto más limitado, BIOCARD<sup>4</sup>, liderado por España, persigue demostrar la viabilidad técnica y económica de la explotación de *Cynara cardunculus*: para su uso energético, a través de un proceso que combina la producción de biodiesel a partir de las semillas y de energía a partir del resto de la planta, empleando diferentes tecnologías de conversión.

Son también dignas de mención las inversiones en energía fotovoltaica, que ya ha alcanzado un alto grado de madurez (calidad, fiabilidad, durabilidad), y los futuros esfuerzos se reorientan hacia mejorar la eficiencia de las células y a reducir costes de fabricación, especialmente el del silicio cristalino, quedando para medio y largo plazo los nuevos materiales fotoeléctricos.

Como ejemplo, el proyecto FOXY<sup>5</sup> aúna a pymes europeas, industria y organismos de investigación que pretenden alcanzar el objetivo de reducir el coste de los módulos a 1€/Wp en 2010. Asumen que la oblea de silicio seguirá dominando el mercado en la próxima década, por lo que persiguen avances en la refinación, purificación y cristalización de silicio de grado solar a partir del de grado metalúrgico, así como el reciclado del de grado electrónico. El coste objetivo es 15 €/kg de SoG-Si (silicio de grado solar). La subsiguiente solidificación y el estirado del cristal Czochralski, método de producción del silicio monocristalino (más eficiente), se optimizará con respecto al rendimiento actual. También se desarrollarán técnicas para producir obleas delgadas y anchas (200 µm y de 150x150 mm<sup>2</sup>, factores estos que aumentan el rendimiento, tanto del sistema productivo como del módulo fotovoltaico, con la intención de alcanzar un 17% de rendimiento en la conversión de la energía solar incidente.

La energía eólica puede estar representada por UPWIND<sup>6</sup> y DOWNVIND<sup>7</sup>. UPWIND se enfoca hacia el futuro y persigue el diseño de turbinas entre 8MW - 10 MW para su empleo en tierra y en el mar. Esto supone revisar casi todos los conceptos actualmente al uso en la industria eólica. Hasta el momento ya se han instalado turbinas de 5 MW.



**Microscopio electrónico para estudiar la morfología de una oblea fotovoltaica.**

Fuente: CENER.

DOWNVIND trata de que sus socios lideren el mercado eólico offshore en aguas profundas. Para ello se necesita desarrollar una nueva generación de turbinas, reduciendo los costes de capital actuales en un 20%, mediante I+D. En la parte tecnológica se está trabajando en diseño de modificaciones en las turbinas actuales de 5 MW para abaratar su

<sup>3</sup> <http://www.renew-fuel.com/home.php>

<sup>4</sup> <http://www.biomatnet.org/secure/FP6/S1845.htm>

<sup>5</sup> [http://www.sintef.no/content/page13\\_\\_\\_\\_8812.aspx](http://www.sintef.no/content/page13____8812.aspx)

<sup>6</sup> <http://www.upwind.eu/default.aspx>

<sup>7</sup> <http://www.downvind.com/home/index.shtml>



transporte e instalación marina en aguas profundas, desarrollo de nuevos conceptos de distribución eléctrica, desarrollo de metodología para fabricar estos generadores en masa y establecer parámetros para su conexión a las redes eléctricas nacionales.

El resto de las áreas no destacan de forma particular, con la excepción del afloramiento de proyectos importantes de energía marina y captura de CO<sub>2</sub>, líneas de las que se esperan resultados a medio y largo plazo.

Por ejemplo, el proyecto CASTOR<sup>8</sup>, que acaba en 2008, pretende desarrollar un nuevo método de captura en poscombustión adaptado a las características de los gases de combustión de las centrales térmicas. Está prevista la instalación de una planta piloto en Dinamarca con capacidad para 1-2 tn/h. (70% del presupuesto).

En cuanto a la energía mareomotriz, se puede mencionar el proyecto WAVESSG<sup>9</sup>, cuyo principal objetivo es operar un convertidor de energía de las olas de 150 kW. Para ello se diseñará, fabricará e instalará el sistema con una turbina de tecnología MST. Se monitorizará su operación, con el objetivo de alcanzar una disponibilidad productiva del 85%, una eficiencia hidráulica del 39% y eléctrica global del 25%.

### Participación española en el 6PM

Respecto al 5PM, hay que tener en cuenta unos factores previos al análisis de la participación española:

- Reducción drástica del número de proyectos aprobados por los cambios radicales en cuanto a la forma de participación y al aumento de la competencia con los nuevos Estados (paso de la EU 15 a la EU 25), candidatos y asociados. Esto ha hecho que las entidades de pequeño y mediano tamaño hayan tenido muy difícil su participación en tales convocatorias.
- La interpretación y aplicación de los nuevos instrumentos no ha sido coherente ni homogénea con relación a las directrices establecidas inicialmente. Lo mismo ha sucedido con el proceso de evaluación, lo que se ha reflejado en una baja tasa de aprobación global. A finales de 2005, esta tasa de aprobación era de 5 a 1, es decir, del 20%.

La consecuencia de estos cambios es la reducción considerable del número de proyectos, siendo las pymes tecnológicas y los grupos de menor tamaño los que han llevado la

peor parte. Lo mismo ha ocurrido con la gran industria, que ha perdido protagonismo en ciertas áreas en favor de los grupos académicos.

La reducción en el número de proyectos, a la par que el aumento de la financiación, se explica por la importancia que la Comisión ha dado a los grandes proyectos integrados (IP) en detrimento de los denominados STREP (proyecto objetivo), respecto al 5PM. Esta tendencia se viene produciendo desde el 4PM, en el cual los ahora llamados STREP absorbían el 90% de la financiación, mientras que el restante apoyo se destinaba a las llamadas acciones de acompañamiento.

### Evolución del 6PM al 7PM

En referencia a las prioridades tecnológicas de energía, se ha producido una evolución entre las prioridades del 6PM y del 7PM, e incluso han aparecido nuevas áreas temáticas, como se detalla en el anexo.

**Biomasa.** Desde el punto de vista de disponibilidad de combustible primario, esta fuente configura un reemplazo amplio y constante, aunque limitado, a los recursos actuales (fósiles en su mayoría). La biomasa para calor y electricidad también compite potencialmente con la biomasa como materia prima para biocarburantes (a los que se alude más abajo). La combustión y gasificación de biomasa en ciclos termoeléctricos son una tecnología muy eficiente, particularmente atractiva en zonas de difícil acceso a las redes de distribución de energía en forma convencional, y con abundancia de biomasa.

La I+D en este campo se dirige a la reducción de costes y la puesta a punto de la gasificación para combustibles problemáticos y complejos (co-gasificación). Presenta retos técnicos en cuanto a corrosión y generación de residuos de combustión (alquitranes).

**Eólica.** La evolución tecnológica de la energía eólica impulsa la mejora de los sistemas de predicción, facilitando así la integración de esta fuente a gran escala en el mercado energético. Tecnológicamente, los esfuerzos se orientan hacia el desarrollo de generadores de más potencia con coste contenido y a la explotación de los recursos marinos.

**Fotovoltaica.** Es necesario un cambio drástico para propiciar la producción en masa a bajo coste de sistemas fotovoltaicos. Una vez superada la integración en el entorno, los principales retos de I+D+i siguen siendo la eficiencia y el coste.

<sup>8</sup> <http://www.co2castor.com>

<sup>9</sup> <http://cordis.europa.eu/>



**Parque Eólico de Aldeavieja (Ávila).**

Fuente: EUFER.

**Solar térmica de concentración.** Esta tecnología está en pleno desarrollo y sus perspectivas han mejorado con los últimos avances. El grado de madurez aún es bajo y necesita de grandes esfuerzos para reducir los costes de producción y optimizar su funcionamiento. Mención especial de I+D merecen los sistemas de acumulación dinámica.

**Solar de baja y media temperatura.** Largamente desarrollada y conocida, la I+D se orienta hacia la mejora de los sistemas existentes y a extender las aplicaciones a la refrigeración y a la industria.

**Geotérmica.** La tecnología de poca profundidad ha alcanzado un nivel de desarrollo notable pero está limitada por la disponibilidad de emplazamientos adecuados. La I+D se orienta a corto plazo hacia las bombas de calor (muy eficientes) y al desarrollo de sistemas de gran profundidad, todavía muy costosos.

**Océanos.** Ya existen pequeños diseños para extraer energía de las olas, pero aún está por determinar el rol que esta tecnología jugará en el futuro mix energético. Tiene un elevado potencial teórico.

**Minihidráulica.** Lleva estancada muchos años en cuanto a I+D y no se le concede excesiva importancia, más allá del desarrollo de estrategias a largo plazo.

**Combustibles renovables.** A corto plazo supone la mejor alternativa para reducir sustancialmente el consumo y las emisiones en el sector del transporte. Aunque hay necesidades de I+D en todos los aspectos de los cultivos energéticos y su conversión en combustibles, las tecnologías de bioetanol y biodiesel ya están penetrando en el mercado, aunque incentivados a través de reducción de impuestos. La visión del Biofuels Research Advisory Council [2] es que los biocarburantes contribuirán hasta en un 25% a las necesidades de combustible en el transporte en 2030. No obstante, se deben dar pasos para desarrollar un suministro fiable, con un volumen suficiente de recursos biomásicos, por lo que hace falta I+D para maximizar los rendimientos y minimizar los costes, concentrándose la actividad en el desarrollo y amplia utilización de la segunda generación de biocarburantes (incluyendo el uso de la biomasa lignocelulósica) y las denominadas biorefinerías integrales. También debe ser apoyada la investigación inicial sobre nuevos métodos y conceptos como genética, producción de hidrógeno vía fotólisis, fotofermentación y similares.

**Redes energéticas inteligentes.** La integración de las energías renovables y la generación distribuida produce desafíos en cuanto a la distribución y casación de la oferta y la demanda. Es necesario el desarrollo de redes europeas de electricidad, gas natural y, en su momento, de H<sub>2</sub>. Esto es necesario para una operación normal y coherente de los mercados liberalizados. Las redes inteligentes se gestionarán, con interacción de todos los agentes, electrónicamente de manera regulada.

**Eficiencia energética.** Incluso con eficiencias superiores en el uso final, la demanda eléctrica va a seguir creciendo, hecho que podría acusarse si el H<sub>2</sub> para el transporte se produce mediante electrolisis. Reducir la demanda a través de la mejora en la eficiencia del uso final es esencial. Ninguna de las opciones tecnológicas listadas aquí es adecuada en sí misma para satisfacer la demanda europea de electricidad, y ni tan siquiera ninguna debería dominar el sector eléctrico o térmico. La I+D se orienta a contribuir a limitar las demandas energéticas en todos los ámbitos del consumo.

**Sistemas de conocimiento de la energía.** Área de nueva creación en el 7PM. Situaciones como el calentamiento global o el fin de los recursos fósiles han impulsado a elaborar estrategias que permitan que, en un futuro, estas situaciones se minimicen.

**Pilas de combustible.** Las pilas de combustible de alta temperatura (incluyendo SOFC, MCFC) produciendo calor y electricidad pueden llegar a ser importantes para aplicaciones pequeñas localizadas, junto con plantas de cogeneración de biomasa. Las PEMFC, DMFC parecen más adecuadas para el transporte y las aplicaciones de baja potencia.

**Hidrógeno.** Tal y como sucede con los vehículos eléctricos, el uso de las pilas de hidrógeno requiere infraestructuras de distribución y repostaje muy costosas. Por esta razón, la introducción en el mercado será paulatina, empezando por el entorno urbano. El uso extendido de estas tecnologías será un largo camino en el que se tendrá que adecuar la capacidad de producción a la demanda. La I+D en H<sub>2</sub> y pilas debe ir acompañada del desarrollo y construcción de las infraestructuras necesarias a un ritmo adecuado.

**Tecnologías limpias del carbón.** Las tecnologías limpias de carbón, considerando la disponibilidad y abundancia de este recurso, constituyen una alternativa real al sistema energético actual. El coste de capital de las plantas avanzadas de carbón es superior al de las de gas, pero los crecientes precios de petróleo y gas pueden hacer más competitiva la "generación limpia" con carbón. Considerable I+D+i es necesaria en investigación de materiales, integración de técnicas CCS e investigación para permitir a las plantas operar a cargas cíclicas y no sólo para cubrir la carga base.

El uso medioambientalmente respetuoso de combustibles fósiles depende de la disponibilidad para capturar y almacenar de forma permanente una alta fracción del CO<sub>2</sub> emitido. Es necesaria I+D para chequear la viabilidad a largo plazo de las técnicas de CCS en diferentes situaciones. Los desarrollos más inmediatos serán la integración de la generación con carbón con las CCS y la madurez comercial de estas técnicas.

**Socioeconomía.** La transición del sistema energético actual a uno sostenible acarreará cambios sociales y económicos cuya magnitud debe ser considerada en sucesivas investigaciones.

## 2.2. Programa EURATOM

La Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) adopta un Programa Marco independiente de actividades de investigación y formación en materia nuclear. El periodo inicial de cinco años puede ampliarse a un total de siete de 2007 a 2013.

El Programa Marco de actividades de investigación y formación en materia nuclear comprenderá actividades comunitarias de investigación, desarrollo tecnológico, cooperación

internacional, difusión de información técnica y explotación, así como de formación.

## 2.3. Séptimo Programa Marco

Oficialmente, el 6PM finalizó el 31 de diciembre de 2006, y en enero de 2007 comenzó un nuevo programa plurianual para acciones de investigación, desarrollo tecnológico y demostración, el 7PM, cuyo periodo de ejecución será de 2007 a 2013.

El 7PM pretende contribuir de forma substancial a revitalizar la Estrategia de Lisboa, adoptada por el Consejo Europeo de Lisboa de 2000, con el objetivo de hacer de la economía europea "la economía basada en el conocimiento más competitiva y dinámica del mundo" en el año 2010.

El 7PM pretende servir como continuación del camino emprendido en el 6PM en la construcción del Espacio Europeo de Investigación (EEI), creando un mercado interior de ciencia y tecnología, que fomente la calidad científica, la competitividad y la innovación.

### 2.3.1. Distribución presupuestaria del 7PM

Previsiblemente, la tendencia del 6PM se repetirá a lo largo del 7PM. La entrada de más países hace que las balanzas de retorno de los actuales miembros se vean perjudicadas, y por tanto España dejará de recibir parte de las actuales subvenciones, en favor de otros países. Este hecho llevará a que nuestro país tenga que financiar una parte mayor de los proyectos de I+D+i con fondos nacionales.

El 7PM cuenta con un presupuesto total para investigación de 50.521 M€ (aumenta el 246% respecto al 6PM), que se distribuyen en cuatro programas específicos: Cooperación, Ideas, Personas y Capacidades.

La prioridad Energía se encuentra recogida en el programa Cooperación y su dotación económica es de 2.350 M€. Por otro lado, las prioridades concomitantes Transporte (incluida aeronáutica) y Medio Ambiente, están dotadas con 4.160 M€ y 1.890 M€, respectivamente.

El objetivo de la prioridad Energía es transformar el actual sistema energético, basado en los combustibles fósiles, en otro más sostenible basado en una amplia gama de fuentes y vectores de energía, combinado a su vez con una mejora de la eficiencia energética, para hacer frente a los retos, cada vez más apremiantes, de la seguridad del abastecimiento y el cambio climático. Persigue también la mejora de la competitividad de las industrias energéticas europeas.

### 2.3.2. La prioridad temática Energía del 7PM

- Aceleración de la penetración de las fuentes de energía renovables.
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de energía y, en el más largo plazo, reducción substancial de las emisiones en el transporte.
- Reducción de emisiones de otros gases de efecto invernadero.
- Diversificación de las fuentes de energía en Europa.
- Mejorar la competitividad de la industria europea, incluyendo mayor involucración de las pymes.

Los Programas Marco de Investigación recogen aquellas áreas del conocimiento en las que se pretende que Europa ostente el liderazgo a nivel mundial. En referencia a energía no nuclear, los principales objetivos en la prioridad temática de Energía se organizan por tecnologías, como sigue:

- **Hidrógeno y pilas de combustible:** aplicaciones fijas, portátiles y para el transporte en pos de crear una base tecnológica sólida para construir una industria comunitaria.

- **Generación de electricidad a partir de fuentes renovables:** desarrollo y demostración de tecnologías integradas de producción a partir de energías renovables, adaptada a las diferentes condiciones regionales, a fin de aumentar sustancialmente la cuota de producción de este tipo de electricidad.
- **Energías fotovoltaica, eólica, biomasa, geotérmica, solar térmica, oceánica y minihidráulica.**
- **Producción de combustible a partir de fuentes renovables:** desarrollo y demostración de tecnologías de conversión mejoradas para las cadenas de producción y abastecimiento sostenibles de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos obtenidos de la biomasa.
- **Fuentes de energía renovables para calefacción y refrigeración:** conseguir reducciones de costes sustanciales, aumentar la eficiencia y disminuir, aún más, el impacto ambiental y optimizar el uso de las tecnologías en las diferentes condiciones regionales.
- **Tecnologías limpias del carbón:** desarrollo y demostración de tecnologías limpias de conversión del carbón, con los objetivos de aumentar significativamente la eficiencia y fiabilidad de las instalaciones, minimizar la emisión de contaminantes y rebajar los



Paneles fotovoltaicos de la Central Toledo PV.

costes generales, en diferentes condiciones de funcionamiento.

- **Tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en la generación de electricidad con emisiones próximas a cero:** desarrollo y demostración de tecnologías eficientes y fiables de captura y almacenamiento (objetivo: 20 €/tnCO<sub>2</sub>, con índices de captura de más del 90%), así como probar la estabilidad, seguridad y fiabilidad a largo plazo del almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- **Redes inteligentes de transporte y distribución:** transformar las actuales redes eléctricas en una red de servicios resistente e interactiva (clientes/operadores) y eliminar los obstáculos a la implantación a gran escala, y la integración efectiva de las fuentes de energía renovables y la generación distribuida.
- **Ahorro de energía y rendimiento energético:** optimización, validación y demostración de nuevos conceptos y tecnologías para edificios, servicios e industria. Combinación de estrategias y tecnologías para el aumento de la eficiencia energética, el uso de la energía renovable y la poligeneración y la integración de los sistemas de gestión de la demanda a gran escala en ciudades y comunidades locales.
- **Creación de conocimientos destinados a la elaboración de la política energética:** desarrollo de herramientas, métodos y modelos para evaluar las principales cuestiones económicas y sociales relacionadas con las tecnologías energéticas, incluyendo la creación de bases de datos y modelos hipotéticos para una UE ampliada y la evaluación del impacto de la energía y las políticas relacionadas con ella.

### 2.3.3. Relación con otras prioridades temáticas

Las prioridades temáticas en los Programas Marco no son estancas, estando correlacionadas unas con otras. A continuación se indican los vínculos que se pueden establecer entre otras áreas del 7PM con el área energética:

### 2.4. Programa Energía Inteligente para Europa (Intelligent Energy Europe)

Con un presupuesto de 727 M€ hasta 2013, este programa se centra en la eliminación de las barreras no técnicas, la creación de oportunidades de mercado y el aumento de la sensibilización tanto de los particulares como de la industria y las empresas. Es decir, despeja el camino a las tecnologías que están recién desarrolladas.

TABLA 2

Relación de prioridades temáticas entre Energía y otras áreas del 7PM.

Prioridad temática	Relaciones con Energía
Salud	Influencia en la salud de nuevas fuentes de energía, sistemas de diagnóstico portátiles.
Biología, Alimentación, Agricultura	Cultivos energéticos, biocombustibles.
Tecnologías de Información y Comunicación	Redes eléctricas inteligentes, control de generación distribuida.
Nuevos Materiales	Nuevos materiales para aplicaciones energéticas, pilas de combustible.
Medio ambiente	Reducción del impacto medioambiental en la producción de energía, almacenamiento de CO <sub>2</sub> , tecnologías limpias de carbón, uso de residuos como fuentes de energía.
Transporte	Nuevos combustibles (CIVITAS), emisión cero, hidrógeno y pilas de combustible.
Espacio	Nuevas fuentes de energía, aplicación de energías renovables.
Seguridad	Aseguramiento de suministro energético.

Fuente: Elaboración propia y programa de trabajo del 7PM.

En concreto, el programa Energía Inteligente para Europa se focaliza en tres líneas de acción:

- Eficiencia energética y uso racional de la energía (SAVE).
- Fuentes de energía nuevas y renovables (ALTENER).
- Aspectos relativos a la energía en el ámbito del transporte (STEER).

El programa EIE es el más cercano a la innovación tecnológica en materia energética, ya que pretende derribar las barreras no tecnológicas, que se mantienen una vez que una determinada tecnología se ha demostrado técnica y económicamente viable, pero que aún no se ha implantado de forma masiva en el mercado.



Detalle de panel fotovoltaico de silicio policristalino.

## 2.5. Plataformas tecnológicas europeas relacionadas con la energía

Las plataformas tecnológicas son una agrupación de entidades interesadas en un sector concreto (lobby), lideradas por la industria, con el objetivo de definir una Agenda Estratégica de Investigación sobre temas importantes y con una gran relevancia social, en los cuales lograr los objetivos europeos de crecimiento, competitividad y sostenibilidad, que dependen de los avances tecnológicos y de investigación a medio y largo plazo.

Todas las plataformas tecnológicas comparten una serie de características:

- Son lideradas por la industria y sus objetivos están relacionados con el crecimiento y la competitividad.
- Amplia implicación de diferentes entidades (industria, autoridades públicas, investigadores, sociedad civil, usuarios y consumidores, etc.). Implicación de las autoridades nacionales.
- Enfoque operativo desde las fases iniciales.
- Mercado potencial identificado para las tecnologías implicadas, cubriendo la cadena completa, desde la investigación y el desarrollo tecnológico hasta la penetración futura a gran escala en el mercado.

A nivel europeo, relacionadas con la energía se encuentran definidas y operativas las siguientes plataformas tecnológicas:

- **Plataforma Europea del Hidrógeno y las Pilas de Combustible** ([www.hfpeurope.org](http://www.hfpeurope.org)). Sus objetivos son facilitar y acelerar el desarrollo y la utilización de sistemas energéticos y tecnologías de componentes basados en pilas de hidrógeno con un coste competitivo, para su aplicación en el transporte y la energía estacionaria y portátil.

Esta plataforma pretende asegurar la participación equilibrada y activa de los principales agentes (industria, comunidad científica, autoridades públicas, usuarios y sociedad civil) y ayudar a la concienciación de las oportunidades del mercado y los escenarios energéticos de las pilas de combustible e hidrógeno.

- **Plataforma Tecnológica Europea Fotovoltaica** ([http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_rt/nn\\_rt\\_pv/article\\_1933\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_pv/article_1933_en.htm)). Su objetivo es contribuir a un rápido desarrollo de una tecnología fotovoltaica europea competitiva a nivel internacional que contribuya a la producción de electricidad sostenible.
- **SmartGrids-Redes Eléctricas del Futuro** (<http://www.smartgrids.eu>). Su objetivo es plantear una visión y estrategia de futuro para las redes de electricidad en Europa, incluyendo la mejora de la

eficiencia energética y la producción de energía limpia. Asimismo, SmartGrids persigue la identificación de las necesidades para la investigación, así como fomentar la investigación pública y privada en el campo de las redes eléctricas.

- **Planta Termoeléctrica con Combustibles Fósiles “Cero Emisiones” (ETP ZEP)**  
(<http://www.zero-emissionplatform.eu/website/>). Persigue la generación de electricidad con emisiones “próximas a cero”. La plataforma pretende identificar y eliminar los obstáculos a la creación de plantas generadoras de electricidad eficientes, con emisiones próximas a cero.
- **Plataforma Tecnológica de Reactores Refrigerados por Gas.** Su objetivo es el desarrollo de reactores nucleares innovadores que satisfagan tanto las restricciones económicas como las preocupaciones de la sociedad (CO<sub>2</sub>, seguridad, cantidad limitada de residuos) y por otro lado permitirán la producción a gran escala de hidrógeno.
- **Plataforma Tecnológica Europea de Energía Eólica** (<http://www.windplatform.eu/>). Persigue planificar las prioridades de investigación hasta el año 2030 y dirigir los fondos públicos y privados entre las áreas de investigación claves.
- **Plataforma Tecnológica Europea de Biocarburantes** (<http://www.biofuelstp.eu/>). Tiene por objetivo principal de la plataforma de biofuel la elaboración de la visión estratégica (Agenda Estratégica de Investigación) con horizonte en el año 2030, así como la creación de una industria europea competitiva de los biocombustibles y el establecimiento de una sociedad público-privada en interés de todos los interesados.



Central Térmica de Meirama (La Coruña).

## 2.6. Actuaciones con resultado a corto plazo

Siguiendo los criterios aplicados en las primeras convocatorias del 7PM, las actuaciones preferentes en las que se esperan resultados prácticos en el corto-medio plazo (es decir, innovaciones introducidas en el mercado antes de finales de 2010) son las siguientes:

- **Biomasa:** co-combustión, mejora de la eficiencia, reducción relativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen fósil por unidad de energía útil producida.
- **Eólica:** energía offshore e integración de sistemas en la red.
- **Fotovoltaica:** disponibilidad de silicio a costes razonablemente menores e innovación en fabricación.
- **Solar térmica de concentración:** almacenamiento de larga duración e innovación en sistemas de transmisión de calor.
- **Tecnologías limpias del carbón:** gasificación, poligeneración en grandes centrales y desarrollo de técnicas de valorización de CO<sub>2</sub>.
- **Solar térmica de media y baja temperatura:** frío solar (absorción y adsorción), desalinización, nuevos diseños y aplicaciones industriales.
- **Combustibles renovables:** estandarización, bioetanol, biodiesel, combustibles sintéticos y proyectos demostrativos.
- **Redes energéticas inteligentes:** integración de energías renovables, simulación y validación y escenarios de desarrollo.
- **Eficiencia energética:** reutilización de calores residuales, innovación energética en pymes e industrias, poligeneración más energías renovables. CIVITAS-plus.
- **Sistemas de conocimiento de la energía:** redes de vigilancia tecnológica.

## 2.7. Actuaciones estratégicas. Prioridades

Ante el hecho de que los recursos económicos con los que apoyar la innovación energética son limitados, hay que priorizar en la aplicación de los mismos. Lo que se sugiere a nivel europeo es lo siguiente.

Para el transporte, las tecnologías que pueden contribuir más y más rápidamente a los objetivos de sostenibilidad a largo plazo de la UE incluyen:

- **Reducción de la demanda vía unas políticas europeas comunes:** investigación en cambios de comportamiento, asuntos socioeconómicos, gestión del tráfico.
- **Motores de combustión interna de muy alta eficiencia,** para su empleo tanto con hidrocarburos como con combustibles biosintéticos y diseños híbridos mejorados.
- **Desarrollo de una infraestructura de materia prima biomásica para la producción de biocombustibles,** con altos rendimientos, incluyendo producción a partir de biomasa lignocelulósica (garantizando apoyo y coordinación de las diferentes políticas). No obstante, las dos opciones H<sub>2</sub>-pila y vehículos eléctricos (al menos inicialmente para un determinado rango de aplicaciones) podrían ser viables a largo plazo, por lo que deben ser apoyadas.

En lo referido a la generación eléctrica y de calor, las tecnologías que ofrecen potenciales campos de mejora hacia la sostenibilidad (gestión de emisiones, seguridad de suministro, competitividad) a largo plazo son:

- **Renovables:** deben contribuir de una forma importante y creciente, tanto a corto como a largo plazo. La eólica terrestre y marina, la fotovoltaica, la solar térmica (de baja, media y alta temperatura) y la biomasa.
- **Fisión nuclear:** la implantación generalizada de los reactores de generación III y la aceleración en el desarrollo de la generación IV, con ciclo cerrado de combustible, así como los sistemas de vertido y gestión de residuos. Un debate público abierto también será necesario dada la preocupación ciudadana.
- **Fusión nuclear:** necesita de un fuerte esfuerzo y compromiso a nivel europeo e internacional.
- **Carbón:** dado que el uso del carbón se incrementará en Europa y a nivel mundial, las mejoras en la eficiencia de la conversión, así como el desarrollo de tecnologías de captura y almacenamiento, son de importancia para mantener tanto el sistema energético europeo como la competitividad de la industria.
- **Redes energéticas:** los temas de red eléctrica y de gas siguen siendo de vital importancia en el desarrollo de un sistema integrado europeo.
- **Otras renovables (geotérmica profunda, energía oceánica):** también pueden contribuir en el futuro y precisan apoyo investigador para que avancen.

La eficiencia en el uso final seguirá siendo perseguida por la industria sin necesidad de apoyo. Sin embargo, además de una fuerte intervención política para conseguir el compromiso de los ciudadanos de reducir el consumo, se hace necesario un esfuerzo para buscar posibilidades nuevas de ahorro energético y emisiones en todos los sectores, incluidos los edificios no residenciales privados.

### 3. I+D+i en energía en España

Las competencias sobre energía de la Administración General del Estado están atribuidas al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través de la Secretaría General de Energía. Otros ministerios distintos del MITYC, con atribuciones en el sector energético, son los siguientes:

- El Ministerio de Educación y Ciencia, del que depende el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Sus funciones se detallan más adelante.
- El Ministerio de Medio Ambiente regula la incidencia sobre el medio ambiente de todas las actividades, incluyendo las energéticas.
- El Parlamento, relacionado con el Gobierno a través del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. De él depende el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

En referencia directa a la investigación, el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i) 2004-2007 determina un conjunto de objetivos que pretenden contribuir a un mayor y más armónico desarrollo del sistema español de ciencia-tecnología-empresa.

Directamente relacionadas con el estímulo de la investigación y desarrollo tecnológico, y en el marco del Plan Nacional de I+D+i, el Gobierno articula el Programa de Fomento de la Investigación Técnica (PROFIT).

#### 3.1. Política energética española en I+D+i

La política energética española en I+D+i ha sido elaborada acorde con las capacidades tecnológicas de España partiendo del planteamiento de objetivos estratégicos de I+D+i en los ámbitos que se precise una evolución.

En referencia específica al Programa de Fomento de la Investigación Técnica, los objetivos del Programa Nacional de la Energía son:



- Garantizar con la investigación y el desarrollo, el suministro energético de forma económica y respetuosa con el medio ambiente, partiendo de criterios de eficiencia y calidad, con el empleo de las fuentes energéticas convencionales e introduciendo las tecnologías necesarias para optimizar su uso.
- Facilitar los medios científicos y tecnológicos que permitan incrementar la contribución de las energías renovables y las tecnologías energéticas emergentes de forma eficiente y competitiva para progresar en su integración en el sistema energético nacional.

### 3.2. Actividad de las empresas

Cabe destacar el importante papel que realizan las pymes (entidades de menos de 250 empleados) frente a la media europea y nacional, que consiguen el 54% del retorno empresarial español. Las empresas españolas obtienen el 6,6%.

Tomando como criterio del interés sobre los objetivos estratégicos de investigación el número de propuestas presentadas, se observa que las empresas muestran un mayor interés en la investigación a largo plazo (gestionada por la DG RESEARCH), con 223 proyectos presentados frente a 87 proyectos correspondientes a investigación en el corto plazo (gestionada por la DG TREN).

Una medida objetiva de los intereses, prioridades y tendencias de las empresas, en referencia a la investigación y desarrollo, viene derivada de la consideración de las temáticas de proyectos de I+D+i presentados al Programa Nacional de Energía (PROFIT), así como de la financiación recibida.

De los resultados alcanzados en la convocatoria del año 2005, resultan reseñables los siguientes aspectos:

- El presupuesto del Programa se ha distribuido en un 74% para el área de energías renovables, un 19% para eficiencia energética y un 7% para combustibles fósiles.
- Por tecnologías, el presupuesto total de 18,8 M€ (destacando 2,8 M€ para tecnologías de mejora del uso final de la energía).

La distribución de fondos por tecnologías se muestra en la figura 1.

Resulta interesante comparar la distribución porcentual de fondos europeos y nacionales (tabla 3) destinados a las distintas áreas temáticas.

A la vista de los datos de la tabla, se deduce el paralelismo existente entre los esfuerzos efectuados a nivel internacional y nacional en referencia a temas como la bioenergía o, en menor medida, la energía solar fotovoltaica. También se observa una gran diferencia en el esfuerzo de la investigación europea y nacional, en referencia a hidrógeno y las pilas de combustible o la captura y secuestro de CO<sub>2</sub> a favor de Europa, aunque este efecto puede verse compensado con el CENIT CO<sub>2</sub> en el campo de las tecnologías limpias del carbón.

Por el contrario, en energía eólica y solar de concentración, España dedica mucho más esfuerzo que la UE, consecuencia lógica de la posición de liderazgo español en esos dos campos.

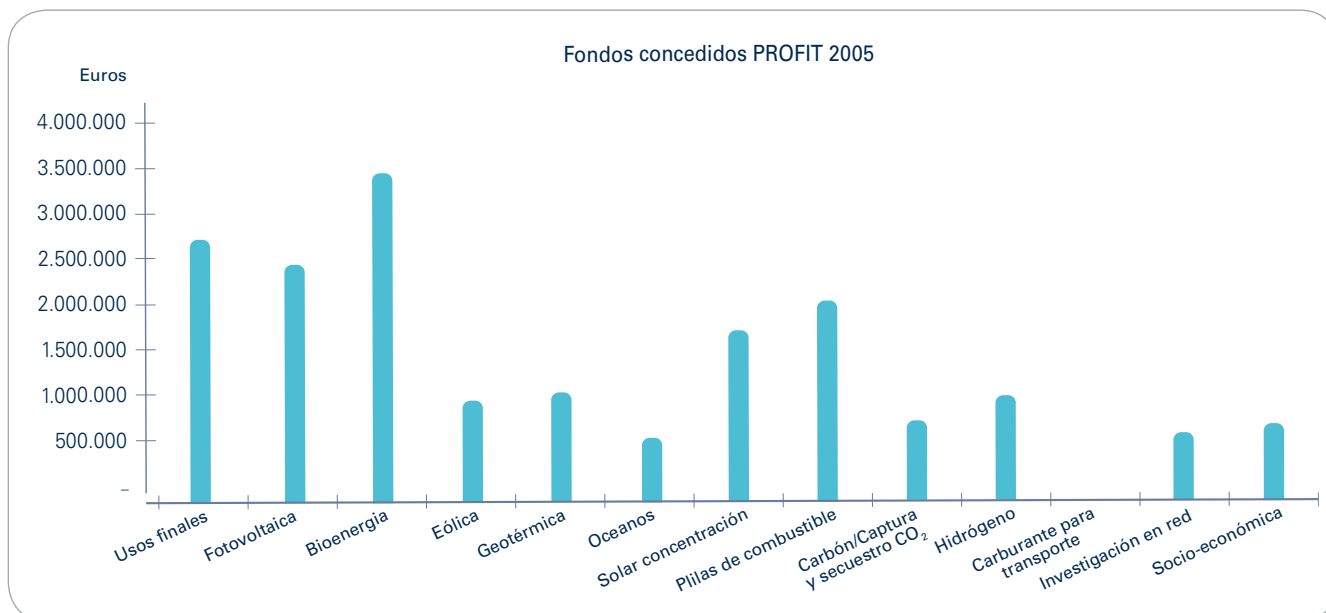
Aparte del PROFIT, los proyectos CENIT constituyen acciones integradas de investigación industrial de carácter estratégico, de gran dimensión y largo alcance científico-técnico, orientadas a una investigación planificada en áreas tecnológicas de futuro y con potencial proyección internacional.

TABLA 3  
Comparación de la distribución de fondos del 6PM y el programa PROFIT.

	Fondos concedidos 6PM	Fondos concedidos PROFIT
Fotovoltaica	10,90%	13,93%
Bioenergía	18,33%	18,90%
Eólica	4,55%	19,50%
Geotérmica	1,92%	4,90%
Océanos	2,02%	2,45%
Solar concentración	1,49%	10,34%
Pilas de combustible	22,15%	11,76%
Captura y secuestro CO <sub>2</sub>	9,89%	5,14%
Hidrógeno	18,09%	5,00%
Integración en red	7,27%	3,54%
Socioeconomía	3,39%	4,52%

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 1  
Ayudas por tecnologías en el PROFIT 2005



Fuente: MITYC.

En la primera convocatoria CENIT se aprobaron cuatro proyectos (tabla 4) relacionados con energía, en los que participan 175 empresas (la mitad pymes) y más de 200 grupos de investigación, con unos 800 investigadores implicados.

El CENIT CO<sub>2</sub> es la primera gran iniciativa para dotar al Estado español de capacidad tecnológica para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión, y por extensión de industrias y procesos contaminantes. Propone:

- A nivel de eficiencia energética, introducción de la biomasa en las centrales térmicas.
- Captura en precombustión. España, a través del INCAR, cuenta con las patentes del proceso carbonatación-calcinación de captura muy prometedora.
- Captura en poscombustión. Hasta la fecha no hay noticias de esta actividad en España.
- Valorización y almacenamiento.

El CENIT WINDLIDER 2015 tiene como principal objetivo el desarrollo de un modelo para la simulación integral de un gran aerogenerador, para, a partir de los datos obtenidos con las turbinas actuales de hasta 5 MW, simular el funcionamiento de aerogeneradores de más de 10 MW facilitando así su diseño y desarrollo. Este proyecto surge por la falta de ayudas que el proyecto UPWIND del 6PM asignó a la industria española.

TABLA 4  
Proyectos CENIT aprobados en la primera convocatoria.

Empresa líder	Acrónimo	Objeto del proyecto
ENDESA GENERACIÓN, SA	CENIT CO <sub>2</sub>	Investigación, desarrollo y validación de nuevos conocimientos y soluciones integradas para incrementar la eficacia en los procesos de disminución del impacto de emisiones de CO <sub>2</sub> .
GAMESA ÉÓLICA, SA	WINDLIDER 2015	Tecnologías para sistemas de simulación y validación de aerogeneradores.
REPSOL YPF, SA	PiLBE	I+D sobre la obtención y utilización de biodiesel, minimizando el uso de combustibles fósiles y favorecer otros de origen renovable, reduciendo la dependencia energética y contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero.
URBASER, SA	OTERSU	Análisis y estudio del conjunto de tecnologías posibles para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU), que permitan la minimización del vertido respetando la normativa ambiental más exigente a nivel internacional.

Fuente: CDTI.

El CENIT PiLBE prevé el estudio de diferentes plantas oleaginosas y procesos de transformación para la producción de biodiesel, facilitando así la sustitución de los combustibles fósiles del transporte, un sector con gran capacidad de emisión de CO<sub>2</sub> y de difícil accionamiento.

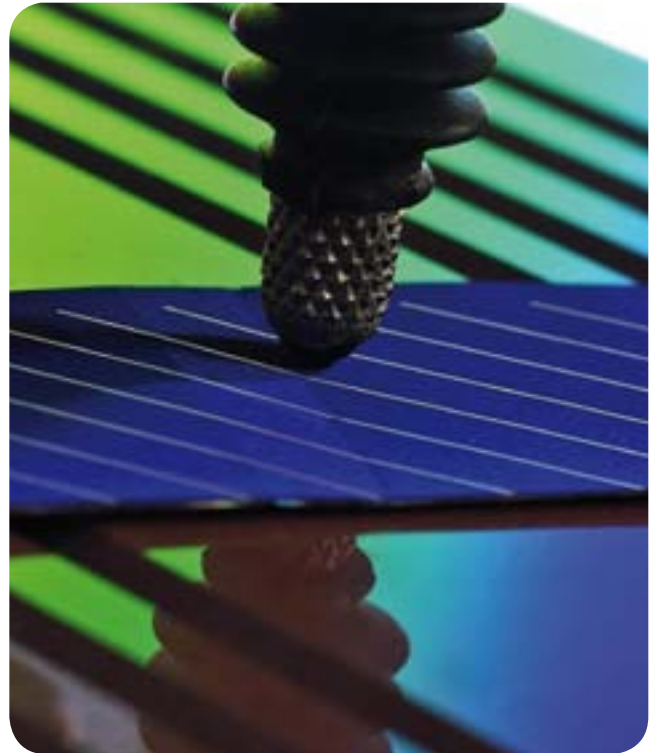
Por último, el CENIT OTERSU se orienta hacia los residuos sólidos urbanos, desde su recogida hasta la mejora y optimización del tratamiento para obtener productos valorizables, entre ellos energía térmica y eléctrica.

### 3.3. Actividad pública de carácter institucional

#### Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

El CIEMAT es un organismo público de investigación de carácter sectorial que desarrolla actividades de investigación, innovación y desarrollo tecnológico en el ámbito energético y medioambiental. Dependiente del MEC, mantiene varios programas de investigación y desarrollo. Los principales ámbitos de actuación del CIEMAT son:

- Energías renovables, 25,9% (el 13,1% corresponde a las actividades desarrolladas en la Plataforma Solar de Almería, PSA):
  - **Biomasa.** Las líneas de investigación son: obtención de etanol (hidrólisis enzimática), evaluación, caracterización, pretratamiento y optimización de la biomasa como recurso energético y, por último, la combustión de la biomasa.
  - **Eólica.** Sistemas eólicos aislados (híbridos diesel o fotovoltaica), volantes de inercia y predicción eólica (horizonte 48 horas).
  - **Fotovoltaica.** Materiales de película delgada, módulos basados en silicio depositado, integración en edificios...
- Tecnologías de combustión y gasificación, 5,1%. Dentro de esta área se incluyen técnicas de valorización energética de residuos y combustibles (co-combustión, gasificación) y aplicaciones con pila de combustible y su integración en sistemas estacionarios y móviles.
- Tecnologías de fisión nuclear, 6,8%. Las principales líneas de investigación energéticas van dirigidas a los nuevos desarrollos reflejados en la III y IV generación de reactores nucleares.
- Fusión nuclear, 22,6%. El CIEMAT participa en el ITER, gran proyecto internacional para el desarrollo de la energía de fusión.



Medición del grosor de células fotovoltaicas.

Fuente: CENER.

- Investigación básica, 17,21%.
- Medio ambiente, 22,3%.

Para la realización de sus actividades, el CIEMAT cuenta con varios centros especializados además de la sede central en Madrid. Estos centros son:

- **CIEMAT Bierzo CO<sub>2</sub>.** De reciente creación (julio de 2004) y aún en desarrollo, busca convertirse en la referencia institucional en I+D dentro de las tecnologías limpias del carbón. El objetivo de la puesta en marcha del centro es el desarrollo de una central "cero emisiones" para el año 2020.
- **CIEMAT CEDER.** Especializado en la biomasa, sus dos líneas principales de investigación son: producción y evaluación de recursos de biomasa y cultivos energéticos y acondicionamiento para su empleo energético y conversión termoquímica de biomasa (lecho fluizado, gasificación).
- **CIEMAT PSA.** Centro especializado en energía solar, centrandose gran parte de sus actividades en sistemas de concentración. Tiene grupos de investigación en energía solar térmica de media temperatura, energía solar térmica de alta temperatura, en hidrógeno solar y procesos industriales y en LECE.

### Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

El Centro Nacional de Energías Renovables dependiente de la Fundación CENER-CIEMAT es un centro tecnológico nacional dedicado a la investigación, al desarrollo y al fomento de las energías renovables en España. Sus áreas de actividad son:

- **Energía eólica.** Cuenta con grandes recursos en esta área. Miembro de MEASNET. Proporciona soporte técnico a la industria.
- **Energía fotovoltaica.** Está presente en proyectos nacionales y europeos de I+D relacionados con la tecnología del silicio (BITHINK, de módulos bifaciales de silicio, por ejemplo).
- **Biomasa.** Tiene líneas de I+D en gasificación para la producción eléctrica y en biocombustibles (biodiesel, etanol) provenientes tanto de cultivos energéticos como de residuos.
- **Arquitectura bioclimática.**

### Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

Sus principales áreas de conocimiento en energía son las aplicaciones de energía solar térmica de baja temperatura, especialmente la refrigeración por absorción y el hidrógeno junto a las pilas de combustible.

### Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Es el principal organismo público de investigación. Sus áreas de interés son múltiples y muy variadas. Algunos de los institutos adscritos al CSIC tienen actividades relacionadas con la I+D energética, centrados principalmente en la investigación básica. Estos centros son:

- **Instituto Nacional del Carbón (INCAR).** Cuenta con múltiples líneas de investigación para la reducción de emisiones en los procesos energéticos (gasificación, lecho fluidizado). Destaca dentro de sus actividades el grupo de captura de CO<sub>2</sub>, con el desarrollo de una técnica específica de carbonatación-calcinación muy prometedora.
- **Instituto de Carboquímica (ICB).** Cuentan con múltiples proyectos de I+D nacionales. Sus principales líneas de investigación son: desarrollo de catalizadores para la reducción de contaminantes, producción de H<sub>2</sub> por descarbonización de combustibles fósiles y preparación de electrocatalizadores soportados por carbono para pilas poliméricas.
- **Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP).** Sus principales áreas de actividad con la energía son el desarrollo de catalizadores y materiales para los procesos químicos de las pilas de combustible.

- **Laboratorio de Investigación en Tecnologías de la Combustión (LITEC).** Centrado en la física de fluidos de la combustión tanto de materia fósil como de biomasa, acaba de abrir una línea de I+D en pilas de combustible.

Aparte de los centros de I+D, las universidades desempeñan un papel importante como centros de desarrollo tecnológico y apoyo técnico a distintos proyectos de I+D tanto de iniciativa pública como privada. Es muy complicado registrar todas las actividades investigadoras de las universidades españolas, por lo que, de manera representativa, a continuación se muestran los campos en los cuales, dentro del 6PM, la Universidad ha generado interés.

- Medio ambiente en áreas urbanas (Arquitectura Bioclimática). Universidad de A Coruña, Universidad Jaime I, Universidad Politécnica de Barcelona y Universidad de Jaén.
- Gasificación de biomasa. Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de Barcelona y Universidad Complutense.
- Tercera generación de convertidores fotovoltaicos. Universidad de Oviedo, Universidad Politécnica de Madrid y Universidad de Sevilla.

### Otros organismos promotores de la Innovación en materia de energía

Aparte de los centros de I+D propiamente dichos existen en distintas instituciones desde las cuales se promueve la investigación y la transferencia tecnológica, pero sin realizar por sí mismas las actividades de I+D+i.

- **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).** Participa en la fase final de la I+D mediante la promoción de la primera implementación comercial de las tecnologías que se consideran listas para su comercialización.
- **Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).** Entidad pública, dependiente del MICYT, que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas españolas.
- **CENIFER.** Navarra ha realizado un importante esfuerzo en favor del desarrollo de las energías renovables y ha adquirido un liderazgo en un sector en continuo crecimiento, un mercado con gran proyección de futuro y con valores añadidos especialmente beneficiosos para la sociedad.
- **Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE).** Institución que representa a los

empresarios españoles y que tiene como fin primordial defender sus intereses y contribuir al crecimiento económico y bienestar de la sociedad española.

### 3.4. Plataformas tecnológicas nacionales relacionadas con la energía

Las plataformas tecnológicas españolas han surgido bien como apoyo a las plataformas europeas, o bien como mecanismo de orientación y estructuración del sector a nivel nacional.

Las plataformas tecnológicas nacionales pretenden definir actividades estratégicas de I+D que se ajusten, en la medida de lo posible, al escenario europeo. Asimismo, pretenden crear una masa crítica en la industria nacional que permita orientar y optimizar los recursos públicos y privados.

En el ámbito nacional, las plataformas o redes tecnológicas directamente relacionadas con temas energéticos son las siguientes:

- **Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y Pilas de Combustible** (*www.ptehpc.org*). Abarca todos los ámbitos del H<sub>2</sub>, desde su producción a su empleo en pilas de combustible. Hace especial hincapié en secundar el desarrollo tecnológico con proyectos demostrativos que acerquen a la realidad a estas tecnologías.
- **Plataforma Tecnológica Española Fotovoltaica (PTFV)** (*www.ptfv.org*). Se centra en elevar la capacidad tecnológica de las empresas españolas respecto a la energía solar fotovoltaica.
- **Plataforma Tecnológica Redes Eléctricas (FUTURED)**. El objetivo de ésta, promovida conjuntamente por el MEC y el MITYC, es propiciar la evolución tecnológica de las redes eléctricas de transporte y distribución, con el objeto de aumentar la competitividad mediante el liderazgo tecnológico y el desarrollo sostenible.

Está orientada a resolver el reto que presenta la generación distribuida y las energías renovables en los sistemas eléctricos actuales.

- **Plataforma Tecnológica Española CO<sub>2</sub>**. El objetivo principal viene dado por la identificación de barreras tecnológicas, económicas, sociales y regulatorias, así como búsqueda de oportunidades tecnológicas para la industria española.
- **Plataforma Tecnológica Eólica (REOLTEC)** (*www.reoltec.net*). Su objetivo es afianzar el posicionamiento científico de la industria nacional a través de

la coordinación de las etapas científico-técnicas, así como de la difusión selectiva de los resultados. Identifica la reducción de costes de generación y el incremento de la disponibilidad y fiabilidad de las máquinas como puntos clave en la I+D.

- **Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa**. Los objetivos principales vienen dados por la definición de planes de estrategia conjuntos con vistas a la plataforma europea y el impulso de proyectos estratégicos integrales conjuntos que fomenten la actividad de las empresas en el sector del I+D+i, así como la identificación de prioridades y necesidades de I+D+i, partiendo de las opiniones y requerimientos de la industria.

Otras plataformas tecnológicas españolas que en sus actividades plantean cuestiones relacionadas con la implementación de nuevas fuentes de energía son las plataformas Española de Química Sostenible, de Tecnología Forestal e Industrias Derivadas, la Tecnológica de la Construcción.

### 3.5. Tecnologías con resultados a corto plazo

#### Biomasa

Las investigaciones en I+D con biomasa están orientadas en dos sentidos; por un lado, la mejora de la logística de suministro y reducción de costes de explotación, recogida, transporte y tratamiento. Y por otro lado, hacia la producción y empleo de biocombustibles en el transporte y la generación



Diferentes tipos de biodiesel.

Fuente: CENER.

eléctrica. Como proyectos con resultados visibles a corto plazo destacan:

- Planta de biomasa de BCyL (Abengoa). Desarrollo y demostración de la primera planta comercial de producción de etanol a partir de residuos agrícolas.
- Agrobihol (Abengoa, MEC). Proyecto para evaluar la capacidad productiva de bioetanol del sorgo azucarero y otros cultivos y su posterior aplicación al transporte y la producción de H<sub>2</sub>.
- Planta piloto de gasificación de biomasa lecho fluido (CARTIF). Configuración y diseño de una planta piloto de gasificación.
- Planta de gasificación de biomasa lecho fluido de presión compensada de energía natural de Mora, con

producción de electricidad motor Guascor para gas de síntesis (ciclo Brayton), en Mora d'Ebre, Tarragona.

- Planta piloto de gasificación tri-reactor de Guascor, limpieza de alquitranes con scrubber de biodiesel y producción de electricidad, en el P. I. de Júndiz, Álava.
- Planta piloto de gasificación de biomasa lecho fluido burbujeante atmosférico de Inerco, en Sevilla.
- Planta piloto de gasificación de biomasa lecho fijo tipo downdraft, de TAIM-TFG en Zaragoza.

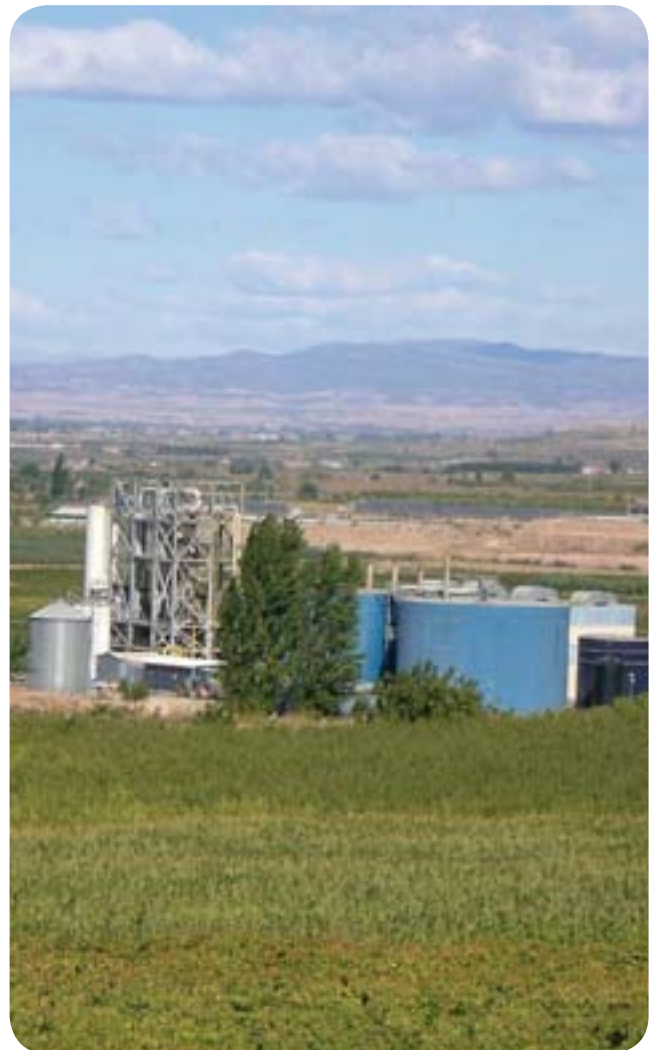
### Energía solar fotovoltaica

En el área fotovoltaica, el obstáculo es el límite a la reducción de costes de fabricación que representa el precio del silicio cristalino. La actividad en este sentido es a largo plazo y está orientada al desarrollo de materiales basados en otros



Prueba de ensayo de un módulo en el Simulador Solar Continuo.

Fuente: CENER.



Planta de TRACJUSA para tratamiento de purines por digestión anaerobia.

Fuente: CENER.

elementos y a sistemas bifaciales o de lámina delgada. Los principales proyectos en el área española son:

- Células fotovoltaicas flexibles de materiales policristalinos (CIEMAT, otros...). Desarrollo de células eficientes de lámina delgada de materiales policristalinos y estudio de la viabilidad de los procesos de preparación de éstos a una escala preindustrial.
- BITHINK (UPV, CENER...). Proyecto para abaratar los costes de fabricación de células bifaciales o de película fina basadas en silicio.
- Hycon PV (PSA). El objetivo del proyecto es desarrollar la tecnología y construir y ensayar un sistema fotovoltaico de alta concentración solar de 1000X. El objetivo es muy ambicioso científicamente y pretende alcanzar un coste inferior a 1 €/Wp en el año 2015.
- Cristal Clear (ECN, Isofotón). Proyecto europeo con presencia española para el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación de bajo coste de módulos de silicio.

### Energía solar térmica

Dentro de este concepto tecnológico encontramos, según la temperatura de operación, distintos grados de madurez tecnológica. Por un lado, a baja temperatura los principales retos están orientados a la producción de frío por absorción. A alta temperatura (solar térmica de concentración), el estado de desarrollo es inferior y se orienta a la producción eléctrica.

- PSE-ARFRISOL (CIEMAT, Gamesa, Isofotón, Acciona...). El objetivo del proyecto es ahorrar en el consumo de energía de los edificios mediante el uso de la energía solar pasiva y las tecnologías renovables.
- SOLARPRO (PSA). Persigue la extensión de la energía solar térmica de concentración como aporte energético a procesos industriales (industria cerámica, procesamiento de metales).
- MEPSOCON (PSA). Se centra en la medida de potencia solar incidente en plantas eléctricas de receptor central.
- PS-10, PS-20... (CIEMAT, Abengoa). Este proyecto persigue la construcción y operación real de varias centrales térmicas de concentración de distintas tecnologías.
- SOLTER-H II (Hynergreen, CIEMAT). Proyecto centrado en el desarrollo de un método de producción de H<sub>2</sub> empleando radiación solar concentrada y ferritas.

- ANDASOL (PSA, SENER...). Proyecto con participación española para el desarrollo y construcción de una planta de colectores cilindro-parabólicos con sales fundidas.

### Energía eólica

El posicionamiento español de liderazgo permite realizar fuertes esfuerzos en I+D. La investigación se centra en un abaratamiento del precio del kilovatio hora generado, mejorar la capacidad de penetración en la red eléctrica y, a medio plazo, extender los aerogeneradores al mar y producir H<sub>2</sub>. Los principales proyectos son:

- Proyecto Anemos (CENER...). Desarrollo de modelos de predicción de producción en parques eólicos.
- RES2H<sub>2</sub> (INABENSA, ITC, INTA...). Proyecto europeo con fuerte participación española. Persigue la integración de las energías renovables (eólica principalmente) con la producción de H<sub>2</sub>. Pretende desarrollar sistemas energéticos 100% renovables.

### Energía de los océanos

La energía de los océanos se está empezando a desarrollar en todo el mundo. En España una de las iniciativas es:

- PSE-MAR (Tecnalia, UPC, CETMAR, Hidroflot...). Busca el desarrollo de una tecnología capaz de extraer de manera asequible y eficiente energía de las olas.

## 3.6. Tecnologías con resultados a medio y largo plazo

### Pilas de combustible

La pila de combustible es una tecnología incipiente que ya está en la fase de demostración de viabilidad técnica y económica, pero que necesitará apoyo para su implementación. También es necesaria la innovación para abaratar los costes de producción.

- HYCHAIN (Air Liquide, BESEL, RUCKER...). Proyecto europeo con fuerte presencia española que desarrolla y está poniendo en funcionamiento, en diversas ciudades europeas y españolas, vehículos impulsados por pila de combustible. En España se van a desplegar:
  - Dos minibuses en Soria.
  - Ocho sillas de minusválidos (cuatro en Soria y cuatro en León).
  - Catorce scooters (siete en Soria y siete en León).
  - Once furgones de servicios municipales (cinco en Soria y seis en León).
  - Diez triciclos de reparto (cinco en Soria y cinco en León).

- EpiCo. Desarrollo en España de pilas de combustible, 200 W a 2 kW de potencia eléctrica (Cegasa, FCC, Hynergreen).
- Hércules (Hynergreen, AICIA...). Este proyecto persigue el desarrollo de un coche de H<sub>2</sub> con tecnología española.
- Nuevos componentes y diseño de pilas de combustible poliméricas (ICB-CSIC).

### Hidrógeno

Tradicionalmente, el concepto pilas de combustible e hidrógeno estaban unidos, pero a día de hoy es necesario separarlo aunque sean campos complementarios. Las líneas a potenciar son la generación de hidrógeno limpio y el desarrollo de los componentes necesarios de la futura economía del hidrógeno. Proyectos destacados:

- SISOLH<sub>2</sub> (UAM, CIEMAT, CENIM). Desarrollo de un sistema solar-hidrógeno empleando materiales para la fotogeneración de hidrógeno y acumulación en hidruros metálicos.
- W2H<sub>2</sub> Wind to Hydrogen (Gamesa). El objetivo de este proyecto es aumentar el aprovechamiento del potencial eólico mediante la producción de H<sub>2</sub>.

### Tecnologías limpias del carbón

España parte con un retraso importante en el desarrollo de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Sólo en los últimos dos años han surgido en España iniciativas para promover la I+D en captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

Actualmente existen dos proyectos activos en este campo: CENIT CO<sub>2</sub> y el CIEMAT Bierzo. Asimismo, se acaba de poner en marcha la Plataforma Tecnológica de CO<sub>2</sub> promovida por el Ministerio de Educación y Ciencia.

## 3.7. Áreas en las que España ocupa/ desarrolla tecnología puntera

Los únicos datos disponibles (aunque no consolidados) del 6PM, entre 2002 y 2006, llevan a España a la quinta posición en cuanto a retornos económicos para proyectos de energía no nuclear, con un 6,6% (59 M€), precedida de Alemania (19,7%), Holanda (10,6%), Francia (9,5%) y Reino Unido (8,3%). Los países que nos siguen son Suecia (6,4%), Italia (6,3%), Dinamarca, Austria y Noruega.

En energías renovables, solar, eólica y biomasa, fundamentalmente, España ha retornado un 7,7%, lo que nos lleva a la cuarta posición europea, tras Alemania, Holanda y Reino Unido.

Por comunidades autónomas, Madrid, con el 32%, seguida del País Vasco (21%) y Cataluña (15%), están a la cabeza de la distribución del retorno a nivel nacional.

En cuanto a las tecnologías en las que España ocupa una posición destacada en la escena mundial, se pueden citar:

- **Biomasa.** La presencia española en este sector es escasa salvo en el caso del bioetanol, donde España es el primer productor europeo. Aun así, salvo en el caso de la empresa Abengoa, con presencia internacional en el mercado de los biocombustibles, el tejido investigador e industrial está poco desarrollado, con la salvedad de la gasificación de biomasa, que está cosechando resultados de interés.
- **Energía eólica.** España ocupa una posición de privilegio dentro del sector eólico, segundo país en potencia instalada, cuenta con fabricantes nacionales con gran presencia internacional. En el área de I+D, España está bien posicionada, si bien destaca la ausencia de las empresas nacionales en los grandes proyectos de I+D europeos (UPWIND, DOWNVIND) que, en algunos aspectos, se contrarresta con el proyecto CENIT WINDLIDER 2015.

Por otro lado, en comparación con las tendencias actuales, el desarrollo de la energía eólica marina se mantiene muy por debajo del alcanzado en otros países.

- **Energía solar fotovoltaica.** La capacidad industrial y tecnológica española se sitúa en el primer nivel internacional. Desde empresas españolas se participa activamente en muchos proyectos europeos y existen centros tecnológicos de referencia a nivel mundial. Aun así, la capacidad investigadora es todavía limitada respecto a otros países.
- **Energía solar térmica de alta temperatura.** España, junto a EE.UU, por delante de Alemania, es la referencia mundial en esta tecnología, contando con los desarrollos comerciales más recientes (PS-10). La actividad de la Plataforma Solar de Almería y de empresas como Abengoa impulsan el liderazgo en el sector, que está experimentando un desarrollo considerable y cuyas expectativas para los próximos años superan las previsiones realizadas tres o cuatro años atrás.
- **Pilas de combustible e hidrógeno.** La posición de España dentro de esta tecnología no es de liderazgo, aunque sí existen ciertas empresas (Hynergreen, Besel, Ariema...) con capacidades y proyectos en este sentido participando de programas europeos.



- **Tecnologías limpias del carbón.** El IGCC de Puertollano es referente a nivel mundial de la tecnología de gasificación de carbón, producción de electricidad mediante gasificación de una mezcla de carbón con alto contenido en azufre y cenizas y coque de petróleo (al 50%) en ciclo combinado de muy alta integración.

## 4. Conclusiones

Los programas de I+D+i en energía se orientan actualmente a conseguir la sostenibilidad del sistema y a lograr una independencia energética de terceros países.

Si se analiza la distribución de fondos distribuidos por el 6PM y la de los fondos PROFIT (figura 2), se observan ciertas diferencias, aunque todas las áreas están relacionadas con la eficiencia energética, el control de emisiones y las energías renovables, entre las prioridades temáticas de ambos programas. Las discrepancias se justifican por el marco temporal (largo plazo, corto plazo) de ambos programas, pero otras muestran las carencias y particularidades de la I+D española respecto a la europea.

- Elevado porcentaje de esfuerzo inversor español en I+D en energía eólica y solar de concentración. Este factor responde a la posición de liderazgo internacional y a los recursos naturales disponibles. Si a las cifras PROFIT se añadiera el CENIT WINDLIDER 2015, la desproporción a favor de España sería aún más acusada.
- Destaca la relativa similitud entre España y Europa para la energía fotovoltaica. Este hecho se explica por estar España en el grupo de los poderosos a nivel europeo, lo que hace que nuestras cifras se asemejen a las del conjunto.
- Desfase en la inversión estratégica. El porcentaje de fondos que la UE dedica a pilas de combustible, hidrógeno y captura y secuestro de CO<sub>2</sub> respecto al que se dedica en España es mucho mayor. La clara diferencia puede estar justificada por la falta de perspectiva estratégica de la I+D española (>2020). Por el lado de las tecnologías limpias del carbón, la diferencia se ve atenuada por el CENIT CO<sub>2</sub> y el IGCC de Puertollano.
- Según los planes estratégicos de la UE, la bioenergía está llamada a jugar un rol importante en el mix europeo de la energía. España, con un grado de desarrollo muy inferior y una inversión relativa similar, tendrá dificultades para seguir ese desarrollo tecnológico. Cobra importancia en este sentido el desarrollo que pueda aportar el CENIT PiLBE y el OTERSU.



### Vehículos y subsistemas del proyecto HYCHAIN.

Fuente: BESEL y Proyecto HYCHAIN ([www.hychain.es](http://www.hychain.es)).

#### 4.1. Actuaciones en I+D+i energía a impulsar en España

En el marco europeo de investigación existen particularidades que diferencian tanto las políticas de I+D de los diferentes países entre sí y respecto a los Programas Marco de la UE. España no resulta una excepción, y mientras que en algunos campos juega un papel investigador destacado en otros su presencia es testimonial. Está claro que ningún país puede aspirar a liderar todos los campos de desarrollo en la energía, pero es importante situarse de tal forma que, según se vaya clarificando el futuro de las tecnologías energéticas, se esté preparado para adaptarse de forma competitiva al nuevo marco. Por ello, dentro de las tecnologías clave identificadas en los sucesivos programas marco, España deberá seguir aquellas rutas que por su elevado peso específico (hidrógeno) o por su facilidad de arraigo en la sociedad española (solar, eólica) aporten valor al sistema energético.

FIGURA 2  
Comparativa del 6PM con el programa PROFIT 2004 y 2005.



Fuente: MITYC y elaboración propia.

#### 4.1.1. Con resultados a corto plazo

**Eficiencia energética.** España es el país con mayor índice de intensidad energética dentro del grupo de los desarrollados de la OCDE. Las actuaciones necesarias en este campo son:

- Herramientas de predicción y de gestión de la demanda.
- Arquitectura bioclimática, Código Técnico de la Edificación.
- Poligeneración, es decir, generación con varios combustibles y tecnologías, y trigeneración, es decir, producción de electricidad, calor y frío de forma combinada.

En este sentido, los objetivos sectoriales del PAE4+ son los siguientes (fuente: IDAE), pero incluyen los efectos inducidos por el PAE4 (tabla 5).

Entre las medidas previstas en el plan, algunas de las que se basan en innovación tecnológica concreta son las siguientes:

- Agricultura: migración de sistemas de riego por aspersión a riego localizado.

- Regulación y control de sistemas de alumbrado público (tensión y frecuencia).
- Renovación de flotas de vehículos por otros con motores más eficientes.
- Aislamiento de las envolventes de los edificios.
- En industria se mantienen las referidas en el PAE4.

En cuanto a renovables, además de las innovaciones previstas en los programas de I+D+i, hay que tener en cuenta las mencionadas en el PER 2005-2010.

**Energía eólica.** Se debe armonizar la importancia del sector con una mayor presencia internacional. El CENITWINDLIDER 2015 resulta una oportunidad al respecto. Las actuaciones necesarias en este campo son:

- Gestión de la producción.
- Control y adecuación de potencia de máquina y parque. Calidad de la energía cedida a red.
- Generadores síncronos, de potencia mayor a 2 MW.
- Energía eólica marina: parques de demostración y aerogeneradores más fiables.

TABLA 5  
Objetivos sectoriales PAE4 + acumulados a PAE4.

Aplicación sectorial		Ahorros energéticos (2008-2012) ktep		Emisiones evitadas (kg de CO <sub>2</sub> )
		Final	Primaria	
SECTORES USOS FINALES	Industria	17.364	24.750	59.165
	Transporte	30.332	33.471	107.479
	Edificios	7.936	15.283	35.540
	Equipamiento doméstico y ofimática	1.729	4.350	9.288
	Agricultura	1.402	1.634	5.112
	Sector público	691	1.739	3.712
SECTOR TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA			6.707	17.834
Totales		59.454	87.934	238.130

Fuente: IDAE.

**Energía solar de alta temperatura.** El reciente desarrollo de la tecnología solar de concentración con la puesta en marcha de una planta demostrativa (PS-10, PS-20 en proyecto) es una oportunidad para una tecnología aún en desarrollo. Las actuaciones recomendables son:

- Optimización de costes y funcionamiento.
- Fomento de instalaciones demostrativas.
- Sistemas fotovoltaicos de concentración.
- Modelos de predicción de la radiación solar incidente. Este concepto es común a la energía solar fotovoltaica y a la solar térmica.
- Nuevo diseño de colector cilindro-parabólico y generación de vapor directa en el colector.
- Concentradores disco-parabólicos.

**Energía solar de baja temperatura:**

- Desarrollo de captadores de bajo coste para aplicaciones de baja temperatura.
- Aplicaciones de refrigeración con energía solar, aplicaciones industriales, y desalinización.

**Fotovoltaica:**

- Producción en materia prima, silicio.

- Colectores de concentración y alta concentración (lentes fresnel).
- Integración de la fotovoltaica en edificios y servicios.

**Bioenergía.** España deberá impulsar definitivamente el empleo de la bioenergía alcanzando los niveles europeos de desarrollo. Por un lado, fomentando la implantación de cadenas de distribución que lleguen a los potenciales usuarios, y por otros, investigando las posibilidades de los cultivos energéticos lignocelulósicos en nuestra geografía.

- Establecimiento de cadenas de producción/distribución: cultivos, maquinaria y sistemas de recogida y manejo de biomasa, sistemas de acondicionamiento previo a la utilización.
- Biocarburantes. Segunda generación de tecnologías de fabricación a partir de celulosa, algas, grasas animales, etc. Selección y mejora de especies, buscando más almidón y menos proteína (bioetanol). Especies oleaginosas más frugales y adaptadas perfectamente al agro español (biodiesel).
- Biogás. Mejora de la eficiencia de la producción y limpieza, codigestión, inyección de biogás en la red de gas natural. Mejora del rendimiento de los motores.

**Secuestro de CO<sub>2</sub>.** Por el momento, la tecnología más prometedora, ya demostrada es la absorción con aminas. Ésta será la primera que se extienda y generalice.

#### 4.1.2. Estratégicos a largo plazo

El gran reto tecnológico, que algunos marcan como objetivo para el año 2050, es la descarbonización de la energía, es decir, eliminar la emisión de  $\text{CO}_2$  de la ecuación. Para ello, a día de hoy se identifican varios caminos: el hidrógeno como vector energético, las pilas de combustible, las tecnologías limpias del carbón y las energías renovables.

Captura y secuestro de  $\text{CO}_2$ . A día de hoy, éste es un proceso factible pero inviable económicamente. Es necesaria una investigación profunda para reducir los costes e implantar estas tecnologías a gran escala. En este campo se presentan las siguientes oportunidades:

- Complementación, refuerzo y continuidad de las actividades emprendidas en el CENIT  $\text{CO}_2$ .
- Aprovechamiento de la tecnología IGCC desarrollada en Puertollano.

**Pilas de combustible.** Habría que equiparar al nivel europeo los niveles de inversión españoles. Actualmente, España no goza de una buena posición en el marco europeo. Será vital no perder la revolución tecnológica que augura el  $\text{H}_2$  y sería recomendable apoyar:

- Investigación básica en componentes y para la integración de las pilas en los diferentes sistemas energéticos.
- Fomento del desarrollo de industria nacional fabricante de pilas.
- Proyectos de demostración.

**Hidrógeno.** Las acciones a realizar serían:

- Elaboración de un plan estratégico.

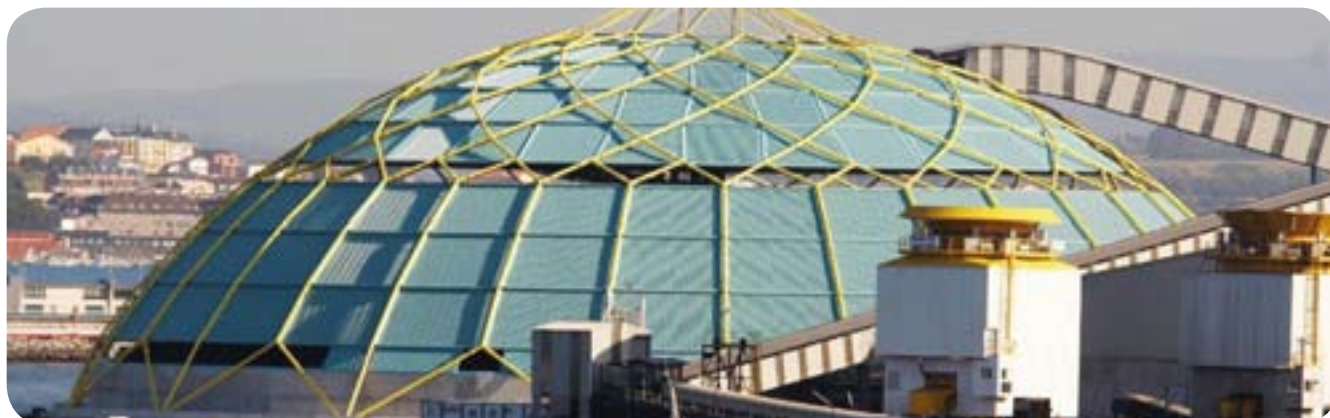
- Fomento de tecnologías alternativas de producción/distribución de hidrógeno. Generación del hidrógeno limpio a través de renovables.
- Viabilidad y eficiencia de los procesos de producción.

**Energías renovables.** Los pasos que se vayan dando a corto-medio plazo marcarán el futuro de las energías renovables. Deberán incluirse en cualquier plan estratégico que se realice. Se observan las siguientes oportunidades:

- Células fotovoltaicas bifaciales y de nuevos materiales fotosensibles de menor coste.
- Demostración de la segunda generación de biocarburantes. Biorrefinerías.
- Predicción a largo plazo de la producción eólica. Uso del hidrógeno como agente acumulador de energía excedentaria.
- Planes estratégicos para energías geotérmicas y oceánicas.

**Energía nuclear.** Mientras se desarrolla la energía de fusión, la fisión deberá superar las trabas sociales para jugar un papel en el futuro energético español. Para ello es esencial apoyar el desarrollo de tecnologías que generen menos residuos y con menor vida media.

- Almacenamiento de residuos seguro y de larga duración.
- Ciclo supercrítico: generación III y III+.
- Reactores de neutrones rápidos.



El Proyecto MEDUSA, desarrollado por Gas Natural Fenosa en el Puerto de A Coruña, tiene el objetivo de minimizar las emisiones de polvo debidas a la descarga de carbón que tiene como destino la Central Térmica de Meirama.

## Anexo. Comparación de prioridades entre el Sexto y el Séptimo Programa Marco COMPARATIVA 6PM vs. 7PM

325

(Nota: LP significa acción con efecto esperado a largo plazo)

Área temática	VI Programa Marco	VII Programa Marco
<b>Biomasa</b>	Optimización de las cadenas de distribución.	Co-combustión en grandes centrales térmicas.
	Combinación con combustibles fósiles.	Biomasa sólida para generación eléctrica.
	Gasificación en CGCC.	Eficiencia en centrales eléctricas medio-grandes.
	LP - Nuevos conceptos en biomasa.	LP - Limpieza avanzada de gases de biomasa.
		LP - Introducción de la tecnología IGCC a la biomasa.
	LP - Innovación en sistemas de control de la corrosión en co-combustión.	
<b>Eólica</b>	Innovación turbinas eólicas, herramientas de diseño.	Demostración de parques eólicos offshore.
	Reducción de costes <i>offshore</i> , climas fríos, geografía compleja.	Integración de sistemas eólicos a la red.
	LP - Energía eólica.	Recursos eólicos offshore.
		LP - Desarrollo de componentes y sistemas para aerogeneradores y parques eólicos.
		LP - Estimación de recursos, predicción eólica.
LP - Estandarización y certificación de sistemas eólicos.		
<b>Fotovoltaica</b>	Nuevos métodos de producción.	Aseguramiento de la disponibilidad de materias primas (Si) a bajo coste.
	Aseguramiento de la disponibilidad de materias primas (Si) a bajo coste.	Reducción de costes de producción.
	Integración de módulos en edificios y generación autónoma.	Innovación en producción.
	Integración de equipos a redes locales.	Desarrollo y demostración de sistemas estandarizados en edificios.
	LP - Fotovoltaica avanzada.	Beneficios de la aplicación de módulos fotovoltaicos.
		LP - Materiales de banda intermedia (IB) para fotovoltaicas.
		LP - Células fotovoltaicas sensibles.
		LP - Módulos fotovoltaicos de concentración.
	LP - Investigación en películas fotovoltaicas binarias delgadas.	

Área temática	VI Programa Marco	VII Programa Marco
Fotovoltaica	LP - Fotovoltaica avanzada.	LP - Impacto ambiental de la energía fotovoltaica.
		LP - Enfoques alternativos al silicio cristalino.
Solar térmica de concentración	Solar térmica de concentración para electricidad.	Solar térmica - Sistemas de almacenamiento de larga duración (diarios).
	LP - Solar térmica de concentración avanzada.	Incremento de los aspectos medioambientales de las central solares térmicas.
		Solar térmica - Innovación en sistemas de transmisión de calor.
		Solar térmica - Sistemas de concentración intermedia.
		LP - Elementos clave de la solar térmica de concentración.
LP - Empleo de solar térmica de concentración para desalinización.		
Solar de baja y media temperatura	Calor y frío solar.	Diseño de colectores y componentes.
	Calor solar para procesos industriales.	Frío solar.
	Desalinización con energía solar.	Desalinización de pequeña escala.
	LP - Solar de media y baja temp. avanzada.	Sistemas térmicos para grandes industrias.
Geotérmica	Energía geotérmica para electricidad.	Innovación en bombas de calor geotérmicas.
	Energía geotérmica para calor y frío.	Mejora de sistemas subterráneos.
	LP - Geotérmica avanzada.	LP - Comprensión y mitigación de la sismicidad asociada a los campos geotérmicos.
Océanos	Energía de los océanos.	LP - Nuevos componentes y conceptos para la energía en los océanos.
	LP - Nuevos conceptos en energía de los océanos.	LP - Una estrategia para la energía en los océanos.
LP - Prenormativa para la investigación.		
Minihidráulica	Minihidráulica.	LP - Nuevos componentes y conceptos para la minihidráulica.
		LP - Una estrategia para la minihidráulica.
Hitos en energías renovables		Sistemas compactos avanzados de acumulación.
		Estandarización de combustibles renovables.
		Promoción y disseminación.
		LP - Sistemas avanzados de predicción de la radicación solar.

Área temática	VI Programa Marco	VII Programa Marco
<b>Producción y procesado de biocombustibles líquidos. Combustibles renovables</b>	Investigación general	Bioetanol procedente del azúcar y plantas similares.
		Biodiesel de semillas, animales y aceites usados.
		Combustibles sintéticos vía gasificación.
		Hidrogenación de grasas y aceites.
		Demostración de biocombustibles líquidos y gaseosos en el transporte.
		LP - Pretratamiento de lignocelulosa para la producción de etanol.
		LP - Nuevos y avanzados métodos de hidrólisis y fermentación de biomasa lignocelulósica.
		LP - Limpieza de alta pureza de gas de síntesis biogás.
		LP - Identificación de necesidades de I+D en biocombustibles para América Latina.
		LP - Biorrefinerías basadas en residuos forestales.
		LP - Nuevos usos de la glicerina en biorrefinerías.
		LP - Desarrollo de nuevos conceptos en biorrefinerías.
		LP - Producción de biocombustibles empleando energía solar.
		LP - Armonización de los métodos de contabilización de la biomasa.
<b>Redes. Smart Energy Networks</b>	Integración a gran escala de energías renovables en la red	Análisis del efecto de los distintos escenarios sobre la infraestructura energética.
		Integración eficiente de la energías renovables en las nuevas infraestructuras.
		Desarrollo y validación de nuevos métodos de control de redes con alta participación de energías renovables.
		LP - Desarrollo de nuevas herramientas de simulación de pequeñas redes de distribución.
		LP - Simulación y estimación de pequeñas redes de transmisión de electricidad.
		LP - Gestión de redes eléctricas.
		LP - Influencia de los sistemas de almacenamiento en la red eléctrica.

Área temática	VI Programa Marco	VII Programa Marco
Eficiencia energética	Arquitectura bioclimática (ecoedificios).	Industria: reutilización de residuos. Calores residuales.
	Poligeneración.	Innovación energética en pymes.
	Combustibles alternativos para motores.	Innovación energética en procesos industriales.
	CIVITAS II.	Combinación de sistemas de alta eficiencia con energías renovables.
		Test de nuevas estrategias para un transporte urbano sostenible.
		CIVITAS-plus.
		Promoción y diseminación.
		Promoción y diseminación CIVITAS-plus.
Sistemas de conocimiento de la energía		Redes de vigilancia energética.
		LP - Seguridad del suministro eléctrico.
		LP - Cambios estructurales en la electricidad.
		LP - Tecnologías energéticas y escenarios de desarrollo.
		LP - Transferencia de tecnología energética.
		LP - Previsiones de la red energética.
Pilas de combustible	LP - Desarrollo de PC de bajo coste, alta temperatura para trigeneración distribuida limpia y sostenible y el transporte (desde kilovatios-megavatios).	LP - Investigación básica de materiales y procesos de las PC PEM.
	LP - Desarrollo de PC poliméricas de bajo coste para aplicaciones estacionarias y de transporte.	LP - Investigación básica de materiales y procesos de las PC de alta temperatura.
	LP - Generación de conocimiento para el desarrollo de materiales de bajo coste para membranas PEM, de metanol directo en PC.	LP - Nuevos conceptos aplicados a pilas de combustible.
	LP - Desarrollo de PC para pequeños dispositivos móviles.	
	LP - Desarrollo y validación de una nueva generación de modelos y simuladores computacionales para el análisis de PC.	
Hidrógeno	LP - Identificación, desarrollo y validación de métodos de producción de centralizados y descentralizados de H <sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles, energías renovables y otras fuentes.	LP - Nuevos materiales para electrolizadores.



Área temática	VI Programa Marco	VII Programa Marco
Hidrógeno	LP - Evaluación y desarrollo de un sistema de almacenamiento de bajo coste para infraestructuras de transporte y uso estacionario.	LP - Nuevos materiales y procesos para procesadores de multifuel.
	LP - El hidrógeno como vector energético del futuro.	LP - Materiales avanzados para procesos termoquímicos a alta temperatura.
	LP - Desarrollo de una red de certificación y normalización y armonización para el aseguramiento de la calidad.	LP - Nuevas nanoestructuras para almacenamiento de H <sub>2</sub> .
	LP - Soluciones para la integración de las redes de generación distribuida con la demanda en Europa.	LP - Prenormativa de la investigación como soporte para las actividades de regulación en la UE.
	LP - Sistemas avanzados de almacenamiento para energías renovables.	
Tecnologías limpias del carbón	Captura en poscombustión.	Gasificación. Mejora de las tecnologías actuales.
	LP - Captura en precombustión.	Poligeneración aplicada a las plantas de carbón.
	Transporte y secuestro de CO <sub>2</sub> .	Soporte regulatorio para favorecer las nuevas plantas cero emisiones.
		Iniciación de cadenas de valorización del CO <sub>2</sub> .
		Extensión de los métodos de valorización a otras industrias generadoras de CO <sub>2</sub> .
		LP - Técnicas avanzadas de captura en precombustión.
		LP - Captura en lechos fluidizados.
		LP - Técnicas avanzadas de separación.
		LP - Técnicas de separación en combustibles gaseosos.
		LP - Desarrollo de un método de clasificación de emplazamiento para formaciones salinas para almacenamiento de CO <sub>2</sub> .
Socioeconomía		LP - Externalidades de la energía.
		LP - Retos sociales de los nuevos sistemas energéticos.
		LP - Modelos de predicción cuantitativos y cualitativos.

## c r é d i t o s

### **01** Introducción

VICENTE SOLER CRESPO

Ingeniero de Minas

Profesor de EOI

Escuela de Negocios

### **02** Eficiencia y Ahorro Energético en el Hogar

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

ARÁNZAZU SASTRE LÓPEZ

ALBERTO NICOLÁS MARTÍNEZ

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **03** Eficiencia y Ahorro Energético en la Industria I

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

JULIO ROJO ALONSO

DAVID ROMÁN PEREDA

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **04** Eficiencia y Ahorro Energético en la Industria II

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

JULIO ROJO ALONSO

DAVID ROMÁN PEREDA

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **05** Eficiencia y Ahorro Energético en el Sector Servicios

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

ARÁNZAZU SASTRE LÓPEZ

ALBERTO NICOLÁS MARTÍNEZ

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **06** Eficiencia y Ahorro Energético en Urbanismo y Edificación

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

ARÁNZAZU SASTRE LÓPEZ

ALBERTO NICOLÁS MARTÍNEZ

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **07** Eficiencia y Ahorro Energético en el Transporte. Biocombustibles

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ

ESTER GÜIZA

ROCÍO ARIAS

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

### **08** Energías Renovables: Eólica

COSME ARANA

VIOLETA PANIELLO

ROBERTO SÁNCHEZ

Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI

Escuela de Negocios

## 09 Energías Renovables: Solar

ISIDORO LILLO BRAVO  
MANUEL SILVA PÉREZ  
VALERIANO RUÍZ HERNÁNDEZ  
E.S. de Ingenieros Universidad de Sevilla  
Profesores de EOI  
Escuela de Negocios

## 13 Innovación Tecnológica

GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ  
Ingeniero de Minas  
Profesor de EOI  
Escuela de Negocios

## 10 Energías Renovables: Cogeneración, Biomasa

JAVIER GRANDE MARTÍN  
GUILLERMO ESCOBAR LÓPEZ  
Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI  
Escuela de Negocios

## 11 Energías Renovables: Geotérmica y Minihidráulica

ROBERTO SÁNCHEZ  
VIOLETA PANIELLO  
ESTER GÜIZA  
IGNACIO JIMÉNEZ  
JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ  
Besel, SA. Empresa Colaboradora de EOI  
Escuela de Negocios

## 12 Generación de Energía Eléctrica

VICENTE SOLER CRESPO  
Ingeniero de Minas  
Profesor de EOI  
Escuela de Negocios



Impreso en papel ecológico y libre de cloro.

© EOI Escuela de Negocios

© Centro de Eficiencia Energética de Gas Natural Fenosa

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

Edita: Gas Natural Fenosa

Diseño y Maquetación: Global Diseña  
Impresión: División de Impresión  
Depósito Legal: M-51519-2008



gasNatural   
fenosa

[www.empresaeficiente.com](http://www.empresaeficiente.com)

[www.gasnaturalfenosa.es](http://www.gasnaturalfenosa.es)

