

**Xavier Elías Castells**  
**Santiago Bordas Alsina**

# **ENERGÍA, AGUA, MEDIOAMBIENTE, TERRITORIALIDAD Y SOSTENIBILIDAD**





---

# ÍNDICE

---

<b>Presentación .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Prólogo.....</b>	<b>XV</b>

## **I EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL**

1. Introducción. Previsión de consumo energético.....	3
2. El consumo energético de la Unión Europea y de España a medio plazo.....	29
3. Producción y abastecimiento de combustible en España .....	45
4. La distribución de la energía en España. Infraestructuras energéticas españolas.....	55
5. Curvas de demanda y consumo eléctrico.....	71
6. Coste de generación de la electricidad. Coste real de generación .....	83
7. El ahorro de energía.....	89
8. Los combustibles fósiles y el impacto ambiental .....	101
9. Noción de sostenibilidad energética .....	111

## **II ASPECTOS AMBIENTALES Y DEMOGRÁFICOS RELACIONADOS CON LA ENERGÍA**

10. El confort y su repercusión en el consumo energético .....	129
11. Distribución geográfica de la población española .....	135
12. Territorio, energía e impactos ambientales de los sistemas de generación de electricidad. Valoración de los impactos ambientales .....	141
13. Sistemas de captura y secuestro de CO <sub>2</sub> .....	157
14. La desertificación de la península ibérica. Consecuencias energéticas .....	171
15. El problema del agua desde el punto de vista de la energía. Costes de desalación y trasvases.....	183
16. Territorio y población. Residuos y efecto invernadero.....	201
17. Sostenibilidad: huelga ecológica, ambiental y social .....	215

### III ENERGÍA Y TRANSPORTE

18. El sector del transporte. Aspectos ambientales y energéticos del transporte.....	231
19. Diversas modalidades del transporte .....	243
20. Modelo actual. Sostenibilidad ambiental del transporte.....	271
21. Impacto ambiental y sostenibilidad del transporte a medio plazo.....	299
22. La eficiencia energética del transporte. Alternativas .....	309
23. Las pilas de combustible.....	333
24. Los carburantes de segunda generación .....	361
25. El transporte de futuro .....	397

### IV LA VIVIENDA Y EL CONFORT

26. Aspectos ambientales y energéticos de la edificación .....	421
27. Urbanismo .....	437
28. Climatología. Cargas térmicas y demanda energética .....	445
29. Materiales de construcción. Aislantes.....	453
30. Ventilación, calefacción y aire acondicionado.....	485
31. Domótica.....	505
32. Arquitectura bioclimática .....	511
33. La vivienda sostenible. Materiales para una construcción sostenible. Equipamiento doméstico ....	545
34. Normativa de edificación en los edificios. CTE, RITE y certificación.....	581

### V ENERGÍAS RENOVABLES

35. Definición y expectativas de las diversas fuentes de energía renovable.....	595
36. La radiación solar.....	599
37. La energía del viento .....	651
38. La energía geotérmica.....	673
39. La energía hidráulica .....	683
40. Energía del océano.....	693
41. Potencial de ubicación y calendario de implantación de las EE RR en España .....	717
42. La producción de hidrógeno con EE RR .....	729

### VI BIOMASA Y BIOENERGÍA

43. Biomasa y bioenergía .....	741
44. Combustibles residuales. Valorización de residuos .....	769
45. Combustibles líquidos a partir de biomasa.....	781
46. Los biogases .....	799
47. La eficiencia de las transformaciones energéticas en la biomasa .....	819

48. Las microalgas y los carburantes del futuro .....	831
49. Biotecnología y sistemas avanzados de ahorro de energía .....	855
50. Noción de biorrefinería .....	871

## VII

### **CONCLUSIONES. ENERGÍAS RENOVABLES *VERSUS* CONVENCIONALES**

51. Posibilidades reales de sustitución del modelo energético actual .....	881
52. El almacenamiento de la energía .....	901
53. Costes de generación de la electricidad a partir de las energías renovables.....	921
54. Costes económicos de las energías renovables en el horizonte de 2040 .....	947
55. Costes de generación de electricidad con el nuevo modelo energético .....	955
56. Distribución de la generación de la energía en el nuevo modelo .....	959
57. Conclusiones. El modelo energético del futuro .....	969
Índice analítico .....	975



---

## PRESENTACIÓN

---

Nuestro actual modelo socioeconómico, basado en el crecimiento económico exponencial e ilimitado, se asienta en la abundancia de la energía barata. A primeros de 2008 algo más del 80% de la energía primaria que consumía el mundo procedía de los combustibles fósiles.

Cualquier actividad, trabajo o material lleva asociado el consumo de una cantidad determinada de energía. Por tanto, vale la pena meditar sobre la manera en que nuestra sociedad podrá seguir disfrutando de este preciado bien cuando sea preciso cambiar el modelo energético. *Esta obra justifica y expone un plan de implantación de energías renovables en España.*

*La actual crisis económica forzarán a replantear una reflexión sobre la matriz energética actual, su sostenibilidad y la necesidad de cambio de modelo para no tener que alterar en demasía el nivel de confort variando muy poco los hábitos de vida.* Por ello, la obra se divide en tres bloques claramente diferenciados, pero unidos por un mismo hilo conductor: la energía.

En *el primer bloque*, integrado por las partes I a IV, se analizan las causas del consumo energético; en otras palabras, la actual problemática energética. Los españoles tenemos un consumo eléctrico medio, por persona, de 5.711 kWh/año y una energía primaria de 3,2 tep/año 37.200 kWh/año). Esta obra no pone en cuestión si estos consumos son necesarios o no y si resultan elevados, de hecho son inferiores a los de nuestros vecinos comunitarios, aunque sí pueden y deben optimizarse. Sin embargo, el análisis de la situación actual promueve y facilita el hallazgo de soluciones alternativas para el futuro.

- I. EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL. En esta Parte se desmenuza la estructura del sistema de generación de electricidad, el suministro de combustibles y el sistema de distribución energético.
- II. ASPECTOS AMBIENTALES Y DEMOGRÁFICOS RELACIONADOS CON LA ENERGÍA. El aumento de la demografía, su asentamiento, la desertificación del territorio, la creciente demanda de agua. La infraestructura asociada a todo ello conduce, inexorablemente, a un incremento del consumo de energía.
- III. ENERGÍA Y TRANSPORTE. El transporte, en la forma que hoy en día se concibe, es el responsable mayoritario del consumo de petróleo, el vector principal de contaminación y encarna un modelo que no va a ser sostenible a corto plazo.
- IV. LA VIVIENDA Y EL CONFORT. Los hábitos de vida de los ciudadanos, en especial los relacionados con la vivienda y el urbanismo, tienen un gran impacto en el consumo de energía, tanto en su forma eléctrica como térmica.

La propuesta de soluciones, componen un *segundo bloque* integrado por las Partes V y VI, intenta aportar soluciones a corto/medio plazo al problema energético, de manera que en el próximo cuarto de siglo nuestra sociedad pase de una incertidumbre a una sociedad que emplea la energía que precisa de manera limpia y sostenible:

- V. SOLUCIÓN A LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: LAS ENERGÍAS RENOVABLES. Las energías renovables devienen como la solución para la generación de electricidad (se demuestra que alguna de ellas podría abastecer la demanda del país). Como se ve a lo largo de esta parte, España, que en 2007 ya generó un 23% de la electricidad a partir de fuentes renovables, tiene un gran potencial de desarrollo.
- VI. SOLUCIÓN A LOS CARBURANTES DE AUTOMOCIÓN: BIOMASA Y BIOENERGÍA. Los capítulos de esta Parte aportan nuevas vías para la fabricación de biocarburantes que puedan sustituir a los petrocarburos, sin entrar en litigio con la alimentación humana y el medio ambiente. Entre los diferentes recursos, los carburantes de segunda generación y las microalgas parecen ser las mejor posicionadas, junto al ahorro de energía, para solucionar, a largo plazo, el problema de suministro de carburantes. Además de que muchos automóviles pasarán a utilizar la energía eléctrica o el hidrógeno en pilas de combustible.

Una vez expuestos los problemas y las posibles alternativas, en el último bloque, el séptimo, se postulan y justifican las soluciones:

- VII. CONCLUSIONES. ENERGÍAS RENOVABLES *VERSUS* CONVENCIONALES. Para establecer el nuevo modelo, se parte de un consumo eléctrico, para 2040, de 424,9 TWh/año, cifra que se justifica por el aumento demográfico, el incremento específico energético y un coeficiente reductor por eficiencia. El nuevo modelo energético postula que se puede llegar al 73,2% de generación a partir de fuentes renovables (sin tener en cuenta la hidráulica convencional, con lo que se alcanzaría el 80% de renovables) a un costo de generación (2,91 c€/kWh) muy inferior al actual. El modelo postula, para 2040, mantener un 20% de generación convencional basándose en la erradicación de la generación eléctrica a partir del carbón, el mantenimiento de las centrales de ciclo combinado y la paulatina sustitución de las actuales nucleares por otras de tercera generación.

Para facilitar la comprensión a aquellos lectores poco familiarizados con la terminología técnica, al principio de cada capítulo aparecen unas conclusiones o puntos más destacados, de manera que se pueda llevar a cabo una lectura rápida del libro tan solo con los resúmenes iniciales.

XAVIER ELIAS CASTELLS  
SANTIAGO BORDAS ALSINA



---

## PRÓLOGO

---

Esta obra presenta la problemática actual de la energía en España y plantea una previsión de su situación en el horizonte del 2040, en un contexto global. Nuestro actual modelo de desarrollo ha estado marcado por unos precios de la energía baratos y un crecimiento económico que parecía no tener límites. Sin embargo, cada vez que el precio del petróleo ha aumentado significativamente, se ha generado una grave crisis económica, la última manifestada básicamente por los desastres financieros en EE UU, aunque en ella subyace un acelerado modelo de crecimiento, muy singularmente el del consumo energético

La situación energética española es preocupante y particularmente vulnerable. Su dependencia del exterior, cercana al 80%, representa, técnicamente, un gran riesgo, y no existe una política decidida para reconducirla rápidamente. La previsible futura escalada de precios de los combustibles fósiles, provocará sucesivas situaciones de inestabilidad económica en España, más agudas que en los países de nuestro entorno, mucho menos dependientes. Desde la óptica de la generación de CO<sub>2</sub>, se va también en la misma dirección, que es la opuesta al protocolo de Kyoto pues, en vez de disminuir la emisión de gases contaminantes, éstos crecen desmesuradamente.

Es preciso cambiar de modelo, hay que disminuir el consumo masivo de productos de origen fósil, altamente contaminantes, en todos los sectores de consumo final como el transporte, la industria y la edificación, y también en el sector eléctrico cuyo mix de generación es insostenible a medio plazo desde cualquier punto de vista.

Los planes energéticos del gobierno para corregir la actual situación resultan insuficientes y poco definidos, y sólo son claros cuando imponen límites a la expansión de ciertas tecnologías, como la eólica o la fotovoltaica. El Real Decreto 661/2007 sobre la generación de energía eléctrica en régimen especial resulta confuso, ya que mezcla constantemente el origen del combustible con la tecnología que se emplea para generar electricidad, y es poco estimulante para el desarrollo de la mayoría de EE RR. En esta línea es también penoso constatar que los últimos gobiernos no han afrontado el coste real de la generación eléctrica, originando un enorme déficit tarifario del sector eléctrico, que continúa creciendo año tras año y que, a su vez, provoca que se dé poca importancia a la electricidad por ser barata.

Los españoles, en 2007, consumieron 3,2 tep/año (37.200 kWh/año) de energía primaria y 5.711 kWh/año eléctricos por persona. En esta obra no se pone en cuestión si estos consumos son necesarios o no, y si resultan elevados, de hecho son inferiores a los de nuestros vecinos comunitarios. En todo cas, la obra muestra que los consumos pueden y deben optimizarse. Es evidente que la población crece y que este crecimiento provocará, junto a un deseo de un mayor bienestar, también un aumento del consumo energético que, con las actuales líneas de actuación, resultará insostenible técnica y económicamente. Ya hemos

llegado a ser, y va a más, una sociedad totalmente “electrodependiente”. No obstante, se debe subrayar que la disminución del consumo energético específico, no está reñido con el nivel de confort.

Es preciso cambiar el modelo de generación energética centralizado y pasar a uno distribuido y más eficaz, en el que tengan un importante peso las EE RR, lo que a su vez permitirá una mayor autosuficiencia energética, mucho más acorde con nuestra posición mundial.

España reúne unas características geográficas y climáticas que la hacen especialmente propensa a la producción de EE RR. Esta obra demuestra que España puede generar, en el umbral de 2040, un 70% de energía eléctrica a partir de las EE RR, lo que permitiría un coste de generación competitivo. En efecto, en una central convencional el 20% del coste de la electricidad corresponde a la inversión y el 80% al combustible, y éste evolucionará al alza. En las EE RR la estructura de costes se invierte, por lo que a la larga serán más favorables y estables por la poca trascendencia del combustible en los costes de explotación y por la disminución de la inversión al mejorar con los años la tecnología y la eficiencia. En este recorrido es preciso aprovechar todas las posibilidades de generación de energía y también cambiar los hábitos de su consumo.

Existen muchos residuos en España que actualmente van directamente a los vertederos y en cambio podrían ser valorados energéticamente como ya se hace en algunos países de nuestro entorno.

Se deberá educar la gestión de la demanda energética. No sólo para evitar el consumo y equilibrar el perfil de la curva del consumo diario eléctrico del país, sino también el nivel de “calidad” de la energía consumida que deberá ser acorde con el tipo de energía producido y/o con el combustible utilizado.

El transporte en España consume cerca del 40% de la energía final, que en un 98% procede de derivados del petróleo, y a su vez es el vector principal de contaminación en CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, así como en partículas, alcanzando el 80% de la contaminación en las grandes ciudades españolas. No se concibe prescindir del transporte en el estado del bienestar actual, por lo que es preciso potenciar de manera decidida un cambio radical: el transporte intermodal, la utilización del transporte público, la mejora drástica en la eficiencia de los vehículos que utilizan motores de combustión interna que deben ser progresivamente sustituidos por los coches híbridos, con pila de combustible y eléctricos. Éste es el camino, siempre que la electricidad proceda de fuentes renovables.

La introducción masiva de la tracción eléctrica en el automóvil supone la superación tecnológica de importantes retos. En primer lugar, hay que ver cómo va a generarse la energía eléctrica que consuman, en la que las EE RR deben jugar un rol fundamental, pues esta electricidad, lógicamente, no debe ser generada a partir de combustibles fósiles. El segundo gran desafío consiste en la mejora de la tecnología de almacenamiento de energía eléctrica y el tiempo de carga de las baterías. La tercera, quizás la más interesante a medio plazo, puede devenir como un sistema de absorción de la energía eléctrica en horas valle, lo cual sería un complemento perfecto para contrarrestar el carácter aleatorio de producción de las EE RR, lo que favorecería un sistema de generación distribuida y de gestión de la demanda por su recarga nocturna, presumiblemente teleprogramada a nivel global. Además, la implantación de las EE RR favorece, a su vez, el sistema de generación distribuido, lo que redundaría en la reducción, o casi eliminación de las importantes pérdidas en el actual sistema de distribución.

Los hábitos de vida de los ciudadanos, en especial los relacionados con la vivienda y el urbanismo, también tienen un gran impacto en el consumo de energía, tanto en su forma eléctrica como térmica, de materiales y de suelo. El sector doméstico consume en España alrededor del 26% de la energía final y, aunque lo realiza en menor cuantía que la media de la UE, también puede y debe entrar en esta dinámica de menor consumo. Aprovechando la bonanza económica, durante muchos años ha habido un crecimiento desmesurado que ha originado grandes despilfarros. En estos últimos años en España se han construido tantas nuevas viviendas como en Italia, Francia, Alemania e Inglaterra juntas, y con ello ha aumentado exponencialmente el consumo. Para corregir ésta y otras situaciones y disminuir el impacto producido de forma drástica, el Parlamento Europeo ha presentado un informe de energía cero en los edificios construidos a partir del 2019. España tiene un clima particularmente favorable para que ello sea posible,



aprovechando, especialmente, las EE RR. Se han iniciado acciones con la nueva reglamentación, Código Técnico de la Construcción y Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, pero se debe ir aún mucho más lejos, utilizando más y mejores aislamientos que los que propugna la actual normativa, con la aplicación intensiva de la arquitectura bioclimática, la domótica, la industrialización, etc. En este sector, por su particular consumo intensivo de materiales y suelo, se debe analizar el ciclo de vida desde el inicio de una construcción hasta su demolición, y se debe hacer hincapié en el reciclado de los materiales, tal como se propone en este libro. Todos estos aspectos son elementos básicos para un mejor aprovechamiento energético y para conseguir el confort de una forma natural. En este sentido, desde el año 2000, e incluso desde antes, se ha desaprovechado una gran oportunidad.

En conclusión, en esta obra los autores presentan una perspectiva crítica de la situación de la energía en la España actual, con muchos de sus problemas y vías de solución actuales o futuros, junto a una previsión para el 2040 basada en las EE RR, que permitiría el progreso, una mayor competitividad internacional y un modelo de bienestar sostenible.

Girona, febrero de 2011

JOSEP-MARÍA TERRICABRAS

---

## EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL

---

Todos los expertos en cambio climático señalan las 450 ppm de CO<sub>2</sub> como la “línea roja” de emisiones. Rebasar este límite llevará incorporado un aumento de 2°C en la temperatura media del Planeta. Para evitar esta catástrofe hay que cambiar, en pocos años y de forma radical, los modelos de producción y uso de energía.

La previsión de consumo energético mundial, en los albores del 2030, es que aumente en un 60%. China, segundo consumidor después de EE UU, le sobrepasará aumentando su consumo cerca de cuatro veces. Esta situación resulta insostenible, las reservas de combustibles fósiles son limitadas y sus precios inexorablemente aumentarán.

La actual estructura energética española está basada en el petróleo. En un futuro inmediato se prevé un aumento muy importante de las energías renovables, un gran aumento en consumo de gas, y mantenimiento de la nuclear y del consumo de carbón.

La distancia entre los centros de generación de electricidad y los puntos de consumo constituye un factor de insostenibilidad por pérdidas en líneas de transporte. La potencia de generación eléctrica ha crecido significativamente, en cambio la longitud de líneas de transporte apenas han variado en los últimos años.

La curva de demanda eléctrica, que puede seguirse en tiempo real, manifiesta importantes fluctuaciones, diarias, semanales, mensuales..., y siempre con una evolución creciente. Estas provocan una gran fluctuación en su precio que puede variar hasta multiplicarse por cinco en un mismo día. Las puntas de consumo, que hay que cubrir, dan lugar a que haya una importante potencia instalada que funciona solamente unas pocas horas al año. La gestión busca influir en el consumidor para que modifique su patrón de demanda con la finalidad de lograr un ahorro neto de energía, un uso más eficiente y racional de las instalaciones. En España existe un importante déficit tarifario en la generación de electricidad, ya que por ella el abonado paga mucho menos de lo que realmente cuesta.

En un aspecto global, según el índice de sostenibilidad “huella ecológica”, en España se consume cerca de tres veces la capacidad de recarga de los recursos naturales.

Ante estas expectativas, se propugna el ahorro, la puesta en marcha de sistemas de recuperación, cogeneración y de valorización de residuos, junto con la implantación de energías renovables. Dentro de la valorización se estudian los sistemas de gasificación, pirólisis e incineración, y solo utilizar como última opción los vertederos, por ser el sistema más contaminante y de nulo aprovechamiento energético.

# Índice I: EL MODELO ENERGÉTICO ESPAÑOL

1. Introducción. Previsión de consumo energético.....	3	• Curvas de demanda eléctrica .....	72
• Introducción .....	4	• Gestión de la demanda eléctrica .....	78
• Aspectos relacionados con el cambio climático .....	9	• Legislación vigente para la regulación de la demanda ..	80
• Conceptos básicos sobre energía .....	13	• Perspectiva europea sobre la seguridad de suministro y la demanda .....	82
2. El consumo energético de la Unión Europea y España a medio plazo.....	29	6. Coste de generación de la electricidad. Coste real de generación.....	83
• Introducción .....	30	• Introducción .....	84
• Petróleo y modelo económico.....	30	• El coste de generación y la tarifa de energía eléctrica en España .....	86
• El precio del petróleo.....	34	• El déficit tarifario .....	87
• La demanda energética en la Unión Europea y su proyección.....	36	7. El ahorro de energía.....	89
• Proyección de la oferta energética en la Unión Europea .....	38	• Introducción .....	90
• Estructura energética en España .....	39	• Objetivo para una correcta gestión de la energía .....	92
• La evolución de la potencia eléctrica instalada en España .....	42	• Rendimiento técnico y ahorro de energía .....	97
3. Producción y abastecimiento de combustible en España.....	45	• Concepto de energía primaria y energía final .....	98
• Introducción .....	46	8. Los combustibles fósiles y el impacto ambiental .....	101
• Combustibles fósiles y autoabastecimiento de energía en España .....	46	• Introducción .....	102
• Abastecimiento energético español de petróleo y gas ..	50	• Impacto ambiental sobre el medio natural.....	102
• Stocks de seguridad de productos petrolíferos y Gas Natural .....	52	• Fuentes de energía de bajo impacto .....	103
4. La distribución de la energía en España. Infraestructuras energéticas españolas .....	55	• La sostenibilidad de la generación de electricidad .....	103
• Introducción .....	56	9. Noción de sostenibilidad energética .....	111
• Infraestructura eléctrica. Distribución de la energía eléctrica.....	56	• Introducción .....	112
• Infraestructuras para el gas .....	64	• La gestión de la biomasa desde el punto de vista energético.....	114
• Infraestructuras para el petróleo .....	67	• La eficacia de las conversiones energéticas .....	120
5. Curvas de demanda y consumo eléctrico. ....	71	• El ciclo cerrado de la energía.....	122
• Introducción .....	72	• Posicionamiento de la UE hacia la sostenibilidad energética .....	123

## BIBLIOGRAFÍA. PARTE I

---

# Introducción. Previsión del consumo energético

---

# 1

## **EL MODELO ENERGÉTICO ACTUAL SERÁ INSOSTENIBLE A CORTO PLAZO**

- Los países emergentes, bajo el acrónimo de BRIC (Brasil, Rusia, India y China), alterarán los parámetros de energía establecidos hasta hoy.
- Sin un cambio radical de modelo energético, la previsión en 2030 es que el consumo mundial de energía sea un 60% superior al actual, con el petróleo y el carbón como fuentes de mayor consumo, y el gas natural el de mayor crecimiento, con un renovado crecimiento para la nuclear y ligero incremento de las renovables en valor absoluto, aunque con una ligera disminución relativa en el mix de todas las energías.
- El ritmo de consumo energético no es sostenible y los combustibles fósiles tienen un techo de producción, y unas reservas estimadas probadas entre 50 y 60 años para el petróleo y gas natural, y de unos 190 años para el carbón.
- En la primera década del siglo XXI, EE UU consumía el 25% de la energía mundial con algo más del 4% de la población mundial.
- En 2030 los países con mayor consumo de energía serán China (que triplicará el actual), EE UU (aumento del 70%) e India (casi cuadruplicará).
- La previsión del PIB y consumo de energía primaria (tep per cápita) para España es de un aumento anual de alrededor del 2% y 0,5% respectivamente. Valores similares tendrán los países de nuestro entorno.
- En conjunto, el consumo de energía mundial entre 2005 y 2030 puede representar un incremento del 60%.
- La Agencia Internacional de la Energía pone de manifiesto que el único escenario sostenible (para que la temperatura del Planeta no aumente 2°C: lo que los científicos denominan “línea roja sin retorno”) para 2020 es que, en este año, la emisión de CO<sub>2</sub>-equiv, no supere las 450 ppm (en 2008, superó las 380 ppm).
- En su resumen anual (2008) y recomendaciones, la AIE postula el uso de energías renovables para tomar el relevo a la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles.
- La intensidad energética de España, como país desarrollado, es mala. La intensidad de emisión de CO<sub>2</sub> también lo es. La única alternativa son las EE RR.
- En las máquinas térmicas, corazón de los sistemas de conversión energético a base de combustibles fósiles, el ciclo de Carnot permite determinar el máximo rendimiento, o lo que es lo mismo, la máxima conversión del calor disponible en trabajo útil.

- El ciclo OCR (ciclo orgánico de Rankine) tiene una gran aplicación en los procesos de energías renovables, en especial con la biomasa y las energías oceánicas.

## Introducción

La planificación del incremento/decremento de la demanda energética es difícil ya que depende de numerosos factores relacionados, principalmente con la demografía y la actividad económica. Según la patronal eléctrica UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica), como consecuencia de la crisis económica, en España, en 2009, ha habido una caída del consumo del 4,3% (255.721 MWh). Se trata de la tercera reducción en consumo desde 1959. Los otros años fueron 1993 (0,3%) y 2008 (0,2%). Por otro lado, el aumento de la generación eólica, que en la madrugada del 23 de diciembre de 2009, llegó a cubrir el 54,1% de la demanda na-

cional y la producción hidráulica debido al desembalse, ha obligado a las térmicas convencionales a trabajar en mínimos técnicos.

En los albores del siglo XXI nadie sabe cómo va a evolucionar la demanda y, sobre todo, la oferta de combustibles y de energía en el horizonte de 2050. La Tabla 1.1 reproduce el producto interior bruto (PIB, en millones de euros, que el Fondo Monetario Internacional estima para 2007), la población y el consumo de energía según la EIA (Energy Information Administration, del gobierno de los Estados Unidos, con datos referidos al año 2004 y actualizados a 2006).

**Tabla 1.1.** PIB por habitante (2007) y consumo de energía (2006) por habitante.

País	PIB (millones €)	Habitantes x1.000	€/habitante	tep x 1.000	tep/habitante
Estados Unidos	9.150.899	290.000	31.555	2.517.879	8,68
China	7.842.119	1.300.000	6.032	1.861.076	1,43
India	3.193.606	1.050.000	3.042	445.727	0,42
Japón	2.936.541	130.000	22.589	574.551	4,42
Alemania	1.834.101	83.500	21.965	368.872	4,42
Reino Unido	1.534.381	60.000	25.573	247.158	4,12
Francia	1.378.452	62.000	22.233	288.587	4,65
Brasil	1.360.739	180.000	7.560	242.947	1,35
Italia	1.276.008	58.000	22.000	203.461	3,51
Rusia	1.289.689	145.000	8.894	766.186	5,28
España	885.274	45.200	19.586	164.150	3,63
México	844.418	105.000	8.042	185.507	1,77
Corea del Sur	844.926	48.000	17.603	238.207	4,96
Canadá	822.344	30.000	27.411	351.751	11,73
Indonesia	711.957	240.000	2.966	104.617	0,44
Taiwan	506.718	25.000	20.269	115.208	4,61
Australia	493.642	17.000	29.038	141.482	8,32
Turquía	488.230	75.000	6.510	98.515	1,31
Argentina	466.928	37.000	12.620	79.478	2,15
Sudáfrica	435.965	44.000	9.908	130.539	2,97
Totales/medias	38.296.937	4.024.700	9.515	9.125.899	2,27

De la tabla anterior vale la pena destacar unos comentarios:

- Los veinte primeros países del mundo ordenados por su PIB representan el 62% de la población mundial.
- De estos países, once sobrepasan la “media” de 15.000 €/habitante y año de PIB, mientras que los nueve restantes no alcanzan los 8.000 €/año.
- En términos absolutos de consumo de energía, EE UU consume casi la cuarta parte de la energía mundial. Los siguientes consumidores, a bastante distancia, son China y Rusia, con un consumo del 74% y del 30% del que tiene EE UU.
- En el consumo de energía per cápita, Canadá, EE UU y Australia son los mayores consumidores, seguidos de Rusia y el grupo de Corea del Sur, Francia, Taiwán, Japón y Alemania, estos con un consumo muy similar. El consumo per cápita de Canadá es casi el triple y EE UU el doble del que tiene el grupo encabezado por Corea del Sur. EE UU consume per cápita seis veces más que China, y más de veinte veces que la India.
- EE UU, Australia y Canadá son los países con mayor PIB per cápita y también el de mayor consumo per cápita de energía, aunque no en el mismo orden. En general a mayor PIB per cápita corresponde mayor consumo per cápita. Fuera de esta regla están, por ejemplo, el Reino Unido con un alto PIB per cápita y un relativamente bajo consumo de energía per cápita, y en sentido contrario Rusia.
- España está en el onceavo lugar en PIB y en el consumo de energía per cápita, en el décimo del PIB per cápita y el treceavo en consumo absoluto de energía.

Si se quiere tener una aproximación de cuál va a ser el consumo de energía en las próximas décadas habrá que estar bien atentos a aquellas naciones que, hoy en día, se hallan por debajo de los 10.000 €/habitante y tienen una importante demografía y una economía en desarrollo, como China, India, Brasil, México, Indonesia y Turquía. En esta línea, la Tabla 1.2 hace una aproximación a casi 25 años teniendo en cuenta la información de la EIA,

que a grandes rasgos, puede simplificarse en los siguientes criterios:

- Los países que tienen un PIB superior a 15.000 €/habitante y año, en los próximos 25 años experimentarán un crecimiento demográfico bajo que no llegará al 1,1% anual (Europa el 0,2%, Japón decrecerá el 0,13%...), aunque EE UU y Canadá estarán ligeramente por encima del 1,2%, mientras que el incremento de la actividad económica (PIB) será del 1,5% y la demanda energética (tep) será, en el mismo periodo, del 1,1% al 1,3% anual, con excepciones para Europa, al 0,7%, y Japón, al 0,3%. En el caso de España se ha realizado una importante corrección debido a la inmigración, tanto europea como de otros continentes, con un incremento demográfico del 0,65% acumulado anual, lo que arrastrará también al consumo. Estos valores, como se comentará más adelante, no están lejos de la valoración del INE (Instituto Nacional de Estadística). Por esta misma razón –debido a la inmigración–, se ha hecho una corrección, aunque en menor cuantía, en los casos de Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.
- Los países que tienen un PIB inferior a 15.000 €/habitante y año, en los próximos 25 años experimentarán un crecimiento demográfico anual importante del 1,3% al 1,7%, aunque con correcciones para China, con un 1,1%, y Rusia que decrecerá al 0,5%, mientras que el incremento de la actividad económica (PIB) será, en el mismo periodo, del 5,3% anual y la demanda energética (tep) estará entre el 1,6% de Rusia y el 4,2% de China.

Los resultados que pueden extrapolarse de la Tabla 1.2 parecen ser concluyentes:

- El primer comentario, que hoy día ya se está empezando a vislumbrar, es el importantísimo consumo absoluto de China, que sobrepasará el doble de su consumo actual y casi duplicará el consumo actual de EE UU adelantándolo en el ranking. Aunque a gran distancia, Rusia e India también serán gran-

**Tabla 1.2.** PIB por habitante y consumo por habitante previstos para 2030.

País	PIB(millones €)	Habitantes x1.000	€/habitante	tep	tep/habitante
Estados Unidos	13.081.236	381.350	34.302	3.311.011	8,68
China	27.084.096	1.634.100	16.574	4.782.966	2,93
India	11.029.663	1.478.400	7.461	879.420	0,59
Japón	4.197.794	126.100	33.289	615.344	4,88
Alemania	2.621.853	91.516	28.649	452.974	4,95
Reino Unido	2.193.402	65.760	33.355	303.511	4,62
Francia	1.970.501	67.952	28.998	354.385	5,22
Brasil	4.699.544	253.440	18.543	428.559	1,69
Italia	1.824.057	63.568	28.695	249.850	3,93
Rusia	4.454.161	129.195	34.476	1.103.308	8,54
España	1.265.502	52.810	24.121	211.097	4,02
México	2.916.342	141.278	20.643	327.235	2,32
Corea del Sur	1.207.824	61.728	19.567	392.803	6,36
Canadá	1.175.543	39.450	29.798	473.456	12,00
Indonesia	2.458.865	353.666	6.953	198.773	0,56
Taiwan	724.355	32.153	22.529	184.332	5,73
Australia	705.663	21.369	33.023	186.049	8,71
Turquía	1.686.186	110.52	15.257	172.402	1,56
Argentina	1.612.615	54.523	29.577	151.008	2,77
Sudáfrica	1.505.679	64.839	23.222	234.969	3,62
Totales/medias	88.414.879	5.223.370	16.927	15.013.454	2,87

des consumidores. En conjunto, el consumo de energía mundial entre 2005 y 2030 puede significar un incremento de cerca del 60%.

- Canadá continuará con el mayor consumo per cápita, seguido de un grupo con consumos parecidos formado por Australia, EE UU y Rusia. Las potencias europeas y Japón tendrán un consumo per cápita moderado.
- China tendrá un PIB de casi el doble de EE UU, que pasará a segundo lugar, e India será la tercera.
- Rusia casi cuadruplicará su PIB per cápita hasta valores típicamente europeos. China, Brasil y México se acercarán a triplicar y aunque estarán en valores medios, pasarán a la cabecera de los países con el PIB más alto.

La *Agencia Internacional de la Energía* (AIE), en su informe de 2007, incorpora un apartado destinado a analizar la capacidad de producción de

petróleo hasta 2015. La Tabla 1.3 muestra las conclusiones.

El informe de la AIE publicado en 2008 rebaja, debido a la crisis económica, el crecimiento de la demanda mundial de petróleo. Así, prevé una tasa de crecimiento del 1% anual hasta alcanzar los 106 millones de barriles en 2030.

Como indica la Tabla 1.3, de 2005 a 2015 deberán aportarse 11,7 millones de barriles diarios (mb/d). Los miembros de la OPEP han puesto en marcha, o están a punto de hacerlo, 90 megaproyectos que en 2015 aportarían estos 11,7 mb/d. Además, con el concurso de los países que no pertenecen a la OPEP, la oferta se podría alargar hasta los 13,6 mb/d. Sin embargo la AIE calcula que el promedio mundial de declive de los campos en explotación se sitúa en torno al 3,7% anual. Esta tasa tan elevada refleja el hecho de que el 70% de la producción mundial de crudo proviene de campos con más de treinta años de historia a sus espaldas.



**Tabla 1.3.** Evolución de la demanda de petróleo en el mundo hasta 2015.

PREVISIONES EN LA DEMANDA DE PETRÓLEO		
Millones de barriles diarios (mb/d)	84,7	mb/d
Crecimiento de la demanda mundial	1,3%	
Crecimiento medio mundial del PIB	4,2%	
Previsión para 2015	96,4	mb/d
Aumento previsto 2000/2015	11,7	mb/d

La conclusión de la AIE es que, para mantener el ritmo de demanda previsto teniendo en cuenta el declive de los campos, se debería alcanzar una oferta de 37,5 mb/d, de lo contrario, el precio crecería de forma exponencial.

El petróleo se enfrenta a un escenario marcado por las tensiones en los próximos años, y el incremento de la oferta no será suficiente para paliar el fuerte aumento de la demanda por la pujanza de China, India, y de los demás países emergentes. La actual capacidad de producción excedentaria se verá reducida a niveles mínimos en torno a 2012, según las estimaciones de AIE.

Según el informe estadístico de energía de British Petroleum en 2007, una de las referencias de la industria, el mundo tiene aún reservas probadas suficientes, 1.317.600 millones de barriles, para abastecer cerca de 50 años a las tasas de consumo actuales. La incógnita es a qué precio. Las mayores reservas se encuentran en Oriente Medio, América del Norte y en mucho menor porcentaje en África. Las reservas de petróleo en Europa están principalmente representadas por los países del Este y sobre todo por los países que pertenecieron a la extinta URSS.

El gas natural será el recurso energético que experimente mayor aumento en el consumo, según EIA en su informe de 2007. Se prevé un incremento promedio de 2,3% por año de 2002 a 2025 (las previsiones para el crudo es del 1,9% y el 2% para el consumo de carbón). Durante el periodo 2004 a 2030 se proyecta un aumento en el consumo de gas del 63%, pasando de 2,8 trillones de metros cúbicos a 4,6 trillones de metros cúbicos, un aumento que solo puede ser comparable al que se prevé para el carbón.

La previsión es que el gas natural continúe como una importante fuente de suministro para la generación de energía eléctrica. Esta elección se

debe a que presenta una reducción en emisiones gaseosas, en comparación con el fuelóleo o el carbón. Casi el 50% del incremento de gas natural demandado entre 2002 y 2025 irá a parar a la producción de electricidad.

Las reservas de gas natural se estiman en 175 trillones de metros cúbicos y se encuentran de nuevo en los países de Oriente Medio, seguido por Europa del Este y los antiguos países de la Unión Soviética.

En el año 2004, el carbón supuso el 26% del consumo energético mundial. Dos tercios de esta cantidad fueron destinados a la producción de electricidad. Las previsiones indican que para el año 2030 la importancia relativa del carbón aumentará hasta el 28% y su participación en la producción de energía eléctrica a escala mundial aumentará del 43 al 45%. Así, el consumo de carbón experimentará un crecimiento del 74% para el periodo entre 2004 y 2030, pasando de 114,4 cuatrillones de Btu ( $114,4 \cdot 10^{12}$  Btu), 2,88 billones de tep ( $2,88 \cdot 10^9$  tep) en 2004 a 5,02 billones de tep ( $5,02 \cdot 10^9$  tep). Hasta el año 2015 el incremento medio del consumo será del 2,6%, crecimiento que se ralentizará hasta el 1,8% en el periodo 2015-2030. Los países ajenos a la OCDE son los responsables del 85% del incremento, ya que en las economías avanzadas el carbón continuará siendo sustituido por el gas natural y las energías renovables.

Aunque en la actualidad el carbón es la segunda fuente emisora de dióxido de carbono por detrás del petróleo, se espera que para 2010 ya sea la primera; crecerá hasta alcanzar el 43% de las emisiones en 2030, frente al 36% del petróleo o el 21% del gas natural.

Las principales reservas de carbón, unos 997.748 millones de toneladas, se encuentran en Asia y Oceanía con el 32%, América del Norte con



el 28% y Europa del Este y antiguos países de la Unión Soviética con otro 28%. Una relación de reservas a junio de 2007 y por países puede encontrarse en [www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html). Se estima que hay reservas para unos 190 años.

Las perspectivas del futuro de la energía nuclear han mejorado debido a la fuerte subida en los precios de los combustibles fósiles y a la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto. Se prevé que la generación eléctrica a partir de energía nuclear se incremente a una tasa media del 1,3% anual desde 2004 a 2030. Se pasará de 2.619 billones de kWh a 3.619 billones. Esto contrasta con previsiones anteriores que vaticinaban un descenso de la importancia de la nuclear, ya que se tenía en cuenta el desmantelamiento de muchas de las actuales instalaciones. Sin embargo, la incidencia de los efectos derivados de la aplicación del Protocolo de Kyoto hace prever que, lejos de proceder a un desmantelamiento, se va a alargar la vida útil de las centrales nucleares.

En los mercados emergentes el consumo de electricidad a partir de la energía nuclear aumentará en un 4,9% al año, entre 2002 y 2025. En Asia, China, India y Corea del Sur es donde se espera el mayor incremento en instalaciones nucleares.

La demanda de electricidad, de acuerdo con las previsiones realizadas en 2007, crecerá un 2,4% anual, de los 16.424 billones de kWh a los 30.364 billones. La mayor parte de este crecimiento, como en el caso del carbón, se debe a las necesidades de las economías emergentes fuera de la OCDE. Para el año 2030 se prevé que aquellas generen más electricidad que los países de la OCDE, y con una demanda hasta tres veces mayor.

En cuanto a las fuentes de producción de electricidad, se espera que el carbón siga siendo la principal materia prima utilizada, incluso en 2030, a pesar del crecimiento del gas natural. La generación de electricidad a partir del petróleo crecerá a un ritmo menor en los países de la OCDE debido al incremento del precio del crudo, mientras que en las economías menos desarrolladas llegará incluso a descender a un ritmo del 0,3% anual. Tan solo en Oriente Medio, donde las reservas son muy abundantes, se continuará usando el petróleo como fuente fundamental de provisión de electricidad.

La hidroelectricidad y las energías renovables continuarán creciendo a razón de 1,7% anual. Las renovables se beneficiarán de los altos precios de los combustibles fósiles, y por ser energías poco contaminantes. Son muchos los gobiernos que están llevando a cabo políticas de fomento de las energías renovables, incluso en situaciones en las que no podrían competir con los combustibles fósiles debido a su rentabilidad. Sin embargo, según *Annual Energy Outlook 2006*, preveían que las energías renovables perderían importancia relativa en la generación de electricidad a escala mundial: del 19% de 2004 al 16% de 2030, debido al mayor aumento en el uso del carbón y del gas natural. No obstante, el informe solo recoge las renovables controladas comercialmente, y no otros usos no comerciales (por ejemplo, el biocombustible usado en las economías más primitivas) que proporcionan energía a 2.500 millones de personas en todo el mundo. Además el AIE, en la edición de la *Annual Energy Outlook 2008*, estima que las fuentes de energía renovables aumentarán un 23% más rápido de lo que se había previsto entre esta fecha y 2030. Así, las perspectivas en energías renovables prevén que se sitúen en 12,2 cuatrillones de BTU de energía en 2030, en comparación con los 9,9 de las previsiones anteriores.

La ONU, el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional y la IAE ponen en duda la viabilidad económica, a medio plazo, de la industria del biofuel, como alternativa al petróleo. En 2012 supondrá solo el 2% del consumo mundial de carburantes, a pesar de su progresión para vehículos en Europa y EE UU.

Por otra parte, hoy en día resulta imposible hablar de energía sin citar sus múltiples interacciones con el medio ambiente. Es por este motivo que es imprescindible llevar a cabo una introducción sobre el comportamiento de los denominados combustibles convencionales que, desde el punto de vista de su combustión, poco difieren de las diversas biomásas, sean residuales o no.

Los procesos de combustión de combustibles pueden dar lugar a la generación de sustancias contaminantes. Por esta razón, actualmente no es posible separar el concepto de generación de energía y el de la conservación del medio ambiente.

## Aspectos relacionados con el cambio climático

Hoy en día nadie niega la evidencia del Cambio Climático, como la comunidad científica internacional viene advirtiendo desde hace muchos años y todo el mundo está de acuerdo en que hay que estabilizar el nivel de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y reducir las emisiones totales para 2050 a más de la mitad como mínimo. La Agencia Internacional de la Energía, en octubre de 2009, ha editado un documento (*“How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen”*) donde la comisión de expertos energéticos postula la futura política de suministro de energía sobre la cantidad de  $\text{CO}_2$  máxima que el planeta podrá soportar en un futuro inmediato, lo que se denomina *Escenario 450*, es decir: que política energética debe hacerse para llegar a 2020 con una concentración en la atmósfera de 450 ppm de  $\text{CO}_2$  equivalente, de manera que la temperatura, este año, no sobrepase en 2 °C la actual. Hay que decir que la apuesta es muy arriesgada puesto que la concentración de  $\text{CO}_2$ , en 2007, era de 384 ppm.

A falta de datos concretos para España, se transcriben las recomendaciones para la UE:

- 20% de reducción de las emisiones de  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$  para 2020 (en relación a 2007).

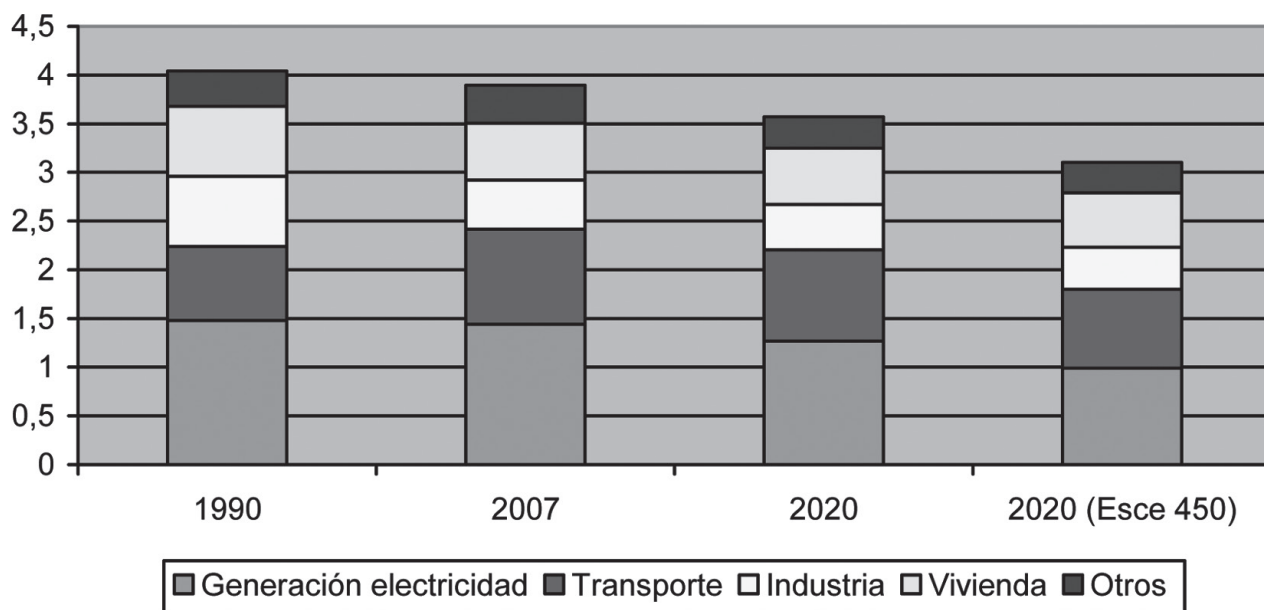
- Para lograr este objetivo, la generación de energía que emite  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$  procedente de los transportes, debe descender un 37%, con respecto 2007.
- Debe alcanzarse una reducción del 17% en las emisiones procedentes de la industria y un 7% por lo que hace referencia a la vivienda.
- Para ello es preciso invertir, aproximadamente,  $45 \cdot 10^9$  €, en tecnologías de baja emisión de carbono y eficiencia energética hasta 2020.

La Figura 1.1, muestra los macrodatos de la UE relativa a la emisión de  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$  en Gt/año.

Los datos de 2020 hacen referencia a lo que acontecería si no se toman medidas especiales para la contención de emisiones (en este escenario se rebasarían los 450  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$ ). Precisamente el gráfico pone en evidencia el peso mayoritario, de la emisión de  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$  procedente de la generación de electricidad.

De manera similar, la Tabla 1.4 pone de manifiesto los principales parámetros para lograr los mismos objetivos.

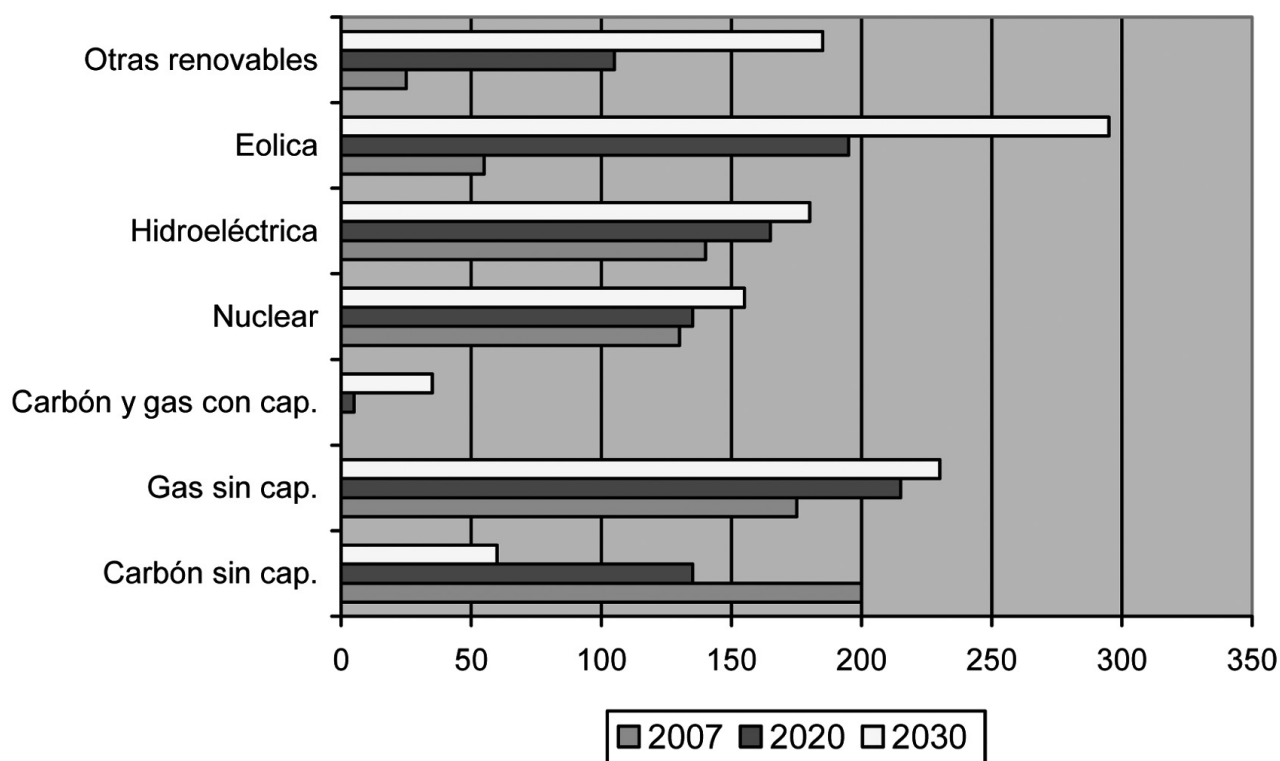
La Figura 1.2 reproduce las recomendaciones aparecidas en el informe *“How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenha-*



**Figura 1.1.** Previsión de emisión de  $\text{CO}_{2\text{-equiv}}$  para la UE.

**Tabla 1.4.** Indicadores de la UE.

	1990	2007	2020	2020 (450)	2030	2030 (450)
Población (millones)	473	496	508	508	508	508
% población mundial	9%	7%	7%	7%	6%	6%
% sobre PIB mundial	27%	22%	18%	18%	16%	16%
% sobre CO2 mundial	19%	13%	10%	10%	9%	9%
t CO2 per cápita	8,5	7,8	7,0	6,1	6,9	4,5
Demanda energía (tep/habitante)	3,5	3,5	3,4	3,3	3,5	3,3
Intensidad CO2 (mundo 2007=100)	90	60	46	40	39	25
Gt CO2 acumulado desde 1890	211	276	322	320	358	346
% CO2 acumulado mundial	27%	23%	20%	20%	18%	18%
Intensidad CO2 (g/kWh)	581	436	348	275	312	118
Intensidad vehículos (2007=100)	-	100	74	63	65	46

**Figura 1.2.** Capacidad de generación de electricidad, en GW, en la UE para el escenario de emisión de 450 CO<sub>2</sub>-equiv.

gen”, sobre la capacidad de generación de electricidad para lograr el escenario de emisiones de 450 CO<sub>2</sub>-equiv.

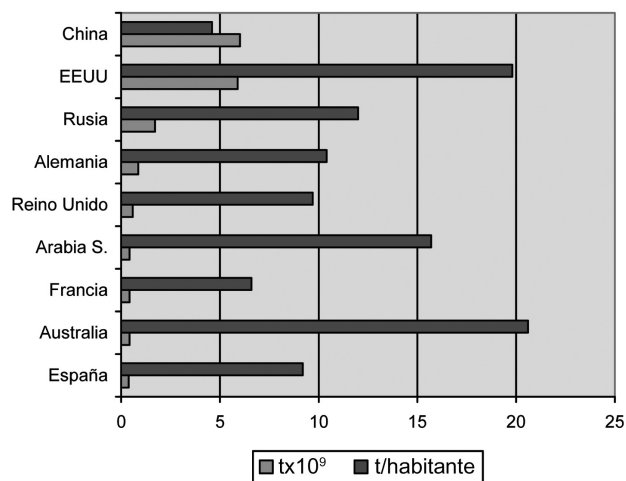
De la Figura 1.2 cabe destacar:

- Que las centrales con captación y secuestro de CO<sub>2</sub> van a jugar un papel importante a partir de 2010.
- En 2007 la potencia total, en la UE, era de 725 GW, con un 30% de renovables, mientras que en 2030 hay que alcanzar los 1.140 GW pero habiendo doblado la importancia de las EE RR.
- Que la previsión para 2030 muestra que la generación de electricidad a partir de fuentes renovables deberá ser del 58%, en toda

la UE, si se pretende alcanzar el escenario de 450 CO<sub>2</sub>-equiv.

## INTENSIDAD ENERGÉTICA Y EFICIENCIA

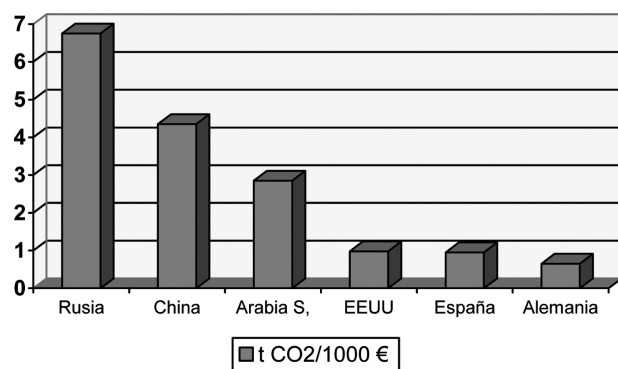
La Figura 1.3 muestra, en valores de 2006, la relación entre la emisión global de CO<sub>2</sub> y la emisión per cápita. Si bien, desde hace años, la China es el principal emisor en valores absolutos, el primer país emisor por habitante es Australia seguido de EE UU.



**Figura 1.3.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> y emisiones per cápita.

Las emisiones deberían compararse en un contexto de desarrollo. Así, teniendo en cuenta que la UE, Australia, Canadá y EE UU tienen un grado de desarrollo similar, también lo deberían ser las emisiones. No obstante, los países europeos se hallan entre 8 y 11 t CO<sub>2</sub>/habitante y año, mientras Australia, Canadá o EE UU están en valores cercanos al doble.

Tan importante es este factor que existen estadísticas, como la representada en la Figura 1.4, que correlacionan la emisión de CO<sub>2</sub> por unidad monetaria del PIB.



**Figura 1.4.** Intensidad energética.

La intensidad energética propiamente dicha relaciona la energía primaria con el PIB, no obstante es interesante representar la intensidad de emisión de CO<sub>2</sub> en relación al PIB. De la Figura 1.4 se desprende que los grandes países más ineficientes son Rusia y China, mientras que los países desarrollados se muestran notablemente más eficientes. Dentro de ellos, como muestra la figura, Alemania tiene una intensidad de emisión menor que España o EE UU, es decir es, energéticamente, más eficiente. En el caso de España, estos parámetros han ido empeorando ya que las emisiones de CO<sub>2</sub> han aumentado mucho.

## ALGUNOS MOTIVOS DEL FRACASO DE LA CUMBRE DE COPENHAGUE

Si como todo el mundo está de acuerdo, la masiva emisión de CO<sub>2</sub> comienza con la revolución industrial, convendría remontarse a esta época para contabilizar en este periodo, 150 años, la importancia en la contribución a la generación de gases de efecto invernadero, de los principales actores:

EE UU:	29,3%
UE:	26,5%
Rusia:	8,1%
China:	7,6%
India:	2,2%
Resto:	26,1%

Es lógico, que tanto los países emergentes como los que se hallan en vías de desarrollo, exijan a los que hasta hoy han emitido más del 50% del CO<sub>2</sub>, unas compensaciones tecnológicas y económicas para que puedan realizar su desarrollo sin deteriorar más el medio ambiente y mermar los recursos materiales y energéticos. La respuesta de los países que integran la OCDE (y de la China por otro lado) ha sido muy decepcionante, máxime si se observa, como muestra la Tabla 1.5, que los hábitos de consumo apenas se han alterado.

En el caso del estado español, como refleja la Tabla 1.6, los valores se hallan encuadrados en la media de los países de la OCDE.

Solo comparando las dos primeras filas se aprecia la diferencia abismal existente entre la media del mundo y los países de la OCDE. A título de resumen se compara, en las dos últimas filas, las veces de más que la OCDE o España superan la media mundial en parámetros de consumo.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los gases de efecto invernadero que permanecen durante más tiempo en la atmósfera. Las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarán de 26,9 billones de toneladas en 2004 a 33,9 en 2015 y a 42,9 en 2030, con un promedio de crecimiento del 1,8% entre 2004 y 2030. El incremento será menor en los países de la OCDE (0,8%) que en los no pertenecientes (2,6%). Entre los prime-

ros, será México el que experimente un crecimiento mayor (2,3%), mientras que el mayor aumento a escala mundial lo ostentará China, cuyas emisiones crecerán un 3,4% debido a su fuerte dependencia de los combustibles fósiles, especialmente el carbón. De hecho, en 2010 ya superará a Estados Unidos como principal emisor, y para el año 2030 ya superará el volumen emitido por los norteamericanos en un 41%.

**Tabla 1.5.** Principales parámetros mundiales.

País/Área	Habitantes x1000	tep x 1000	Consumo eléc TWh/año	Emision Mt CO2
Mundo	6.609.000	12.029.000	18.187	28.962
OCDE	1.185.000	5.497.000	10.048	13.001
Asia (- China)	2.148.000	1.377.000	1.514	2.898
África	958.000	629.000	554	882
Latinoamérica	461.000	550.000	847	1.016
Alemania	83.500	368.872	591	798
Argentina	37.000	79.478	105	163
Australia	17.000	141.482	237	396
Brasil	180.000	242.947	413	347
Canadá	30.000	351.751	560	573
China	1.300.000	1.861.076	3.114	6.071
España	45.200	164.150	283	345
Estados Unidos	290.000	2.517.879	4.113	5.769
Francia	62.000	288.587	481	369
India	1.050.000	445.727	610	1.324
Indonesia	240.000	104.617	127	377
Japón	130.000	574.551	1.083	1.236
México	105.000	185.507	214	438
Reino Unido	60.000	247.158	373	523
Rusia	145.000	766.186	898	1.587

**Tabla 1.6.** Principales consumos unitarios.

País/Área	tep/habitante	kWh/año y habitante	t CO2/habitante y año
Mundo	1,82	2.752	4,38
OCDE	4,64	8.479	10,97
Asia (- China)	0,64	705	1,35
África	0,66	578	0,92
Latinoamérica	1,19	1.837	2,20
Alemania	4,42	7.078	9,56
Argentina	2,15	2.838	4,41
Australia	8,32	13.941	23,29
Brasil	1,35	2.294	1,93
Canadá	1,73	18.667	19,10
China	1,43	2.395	4,67
España	3,63	6.261	7,63
Estados Unidos	8,68	14.183	19,89
Francia	4,65	7.758	5,95
India	0,42	581	1,26
Indonesia	0,44	529	1,57
Japón	4,42	8.331	9,51
México	1,77	2.038	4,17
Reino Unido	4,12	6.217	8,72
Rusia	5,28	6.193	10,94
OCDE/Mundo	2,5	3,1	2,5
España/Mundo	2,0	2,3	1,7

## Conceptos básicos sobre energía

Como introducción a la generación de energía a partir de recursos renovables y no renovables, es aconsejable realizar un breve repaso a los principios y conceptos asociados a la energía y su transformación.

Es conocido desde hace siglos, en especial desde Leibnitz, que en los fenómenos puramente mecánicos la energía mecánica se conserva. Sin embargo, la relación entre la energía mecánica y la térmica no se consolidó hasta 1840, por James Joule. Este observó cómo la energía mecánica se transformaba en calor, existiendo siempre la misma relación cuantitativa entre la energía mecánica que entregaba y la cantidad de calor que aparecía. Esta relación es conocida como *equivalente*

*mecánico de calor*, y demostró que el calor no es más que una de las formas en que la energía de un sistema se transfiere. Así, la energía puede intercambiarse en forma de calor o de trabajo y ambas tienen las mismas unidades que tiene la energía

Esta y otras experiencias demuestran que los conceptos de calor y trabajo no son más que una transferencia de la energía que posee un sistema. A esta se le conoce como energía interna y es una propiedad intrínseca del sistema para un determinado estado, que variará cuando entregue parte de su energía interna. La transferencia de energía se realizará en forma de calor y/o de cualquier tipo de trabajo, mecánico, eléctrico, etc., entregándola al sistema o sistemas con los que interactúe.

### Unidades de energía

La energía que tiene almacenada un cuerpo se manifiesta en forma de trabajo, por lo que el valor de este trabajo será una medida de su energía.

En el Sistema Internacional (S.I.) la unidad de trabajo y energía es el julio (J), que equivale al trabajo desarrollado por la fuerza de 1 newton (N) al desplazar su punto de aplicación 1 metro (m).

En física nuclear la unidad de energía utilizada es el electronvoltio (eV), que se define como la energía de un electrón al pasar entre dos puntos separados por una diferencia de potencial de 1 voltio (V):

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

La unidad de energía en electricidad es el kilowatio-hora (kWh), que se define como el trabajo realizado por una máquina de 1 kilowatio (kW) de potencia durante 1 hora (h):

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Para las fuentes energéticas, las unidades representan su poder calorífico. La unidad kcal/kg representa el número de kilocalorías obtenidas en la combustión de 1 kg de combustible:

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \cdot 10^3 \text{ J} = 10^{-3} \text{ termias}$$

La unidad tec (tonelada equivalente de carbón) representa la energía liberada por la combustión de 1 tonelada de carbón (hulla):

$$1 \text{ tec} = 29,3 \cdot 10^9 \text{ J}$$

Una tep (tonelada equivalente de petróleo) equivale a la energía liberada en la combustión de 1 tonelada de petróleo:

$$1 \text{ tep} = 41,84 \cdot 10^9 \text{ J} = 10^7 \text{ kcal} = 11.628 \text{ kWh} = 7,35 \text{ br}$$

Siendo la relación entre estas dos unidades:

$$1 \text{ tep} = 1,428 \text{ tec}$$

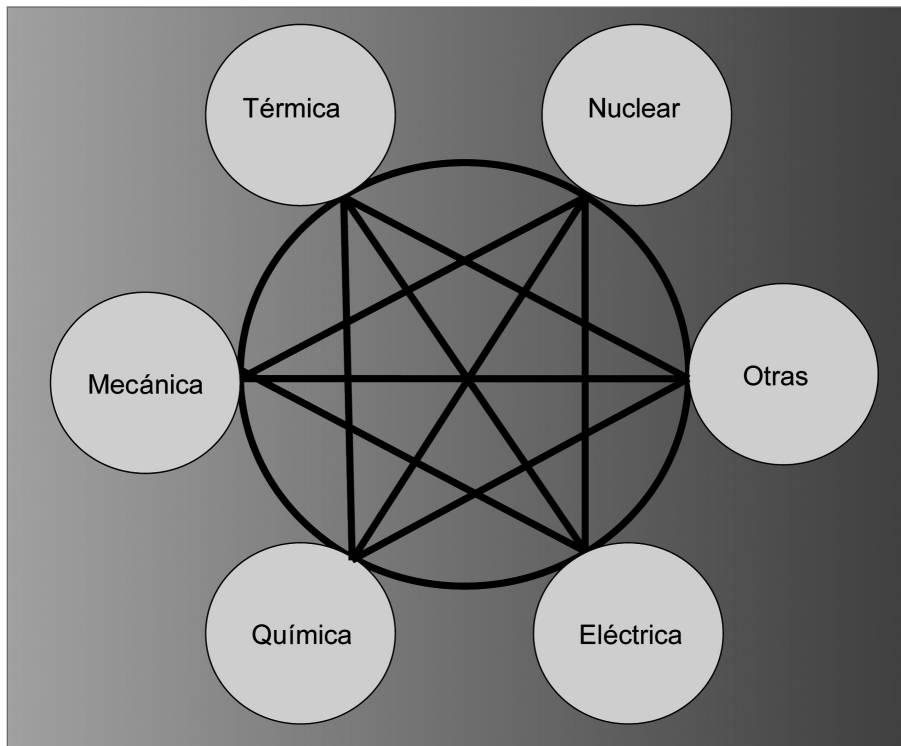
Las unidades energéticas más empleadas en terminología inglesa son:

$$1 \text{ Btu} = 1,055 \cdot 10^3 \text{ J} \quad \text{y} \quad 1 \text{ termia (US)} = 10^5 \text{ Btu}$$

Otras magnitudes utilizadas son el Quads, el barril (br) de petróleo (con una capacidad de  $0,159 \text{ m}^3$ ), y el bcm (con una capacidad de  $10^9 \text{ m}^3$ ), que tienen una energía de:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Quads} &= 1,055 \cdot 10^{18} \text{ J} \\ 1 \text{ br} &= 136 \cdot 10^4 \text{ kcal} = 1.582 \text{ kWh} \\ 1 \text{ bcm} &= 10^4 \text{ Mtermias} \end{aligned}$$





**Figura 1.5.** Las diferentes formas de energía son intercambiables entre ellas.

Por esta transferencia de energía se conocen las diferentes formas de energía que posee un sistema: mecánica, nuclear, radiante, eléctrica, química, térmica, potencial, etc., siendo transformables las unas en las otras, como muestra la Figura 1.5.

No se debe confundir fuentes de energía con formas de energía. Las fuentes energéticas representan el lugar de donde se puede obtener la energía. Por ejemplo, el agua de un embalse es una fuente energética, ya que su energía potencial puede transformarse en eléctrica. El carbón también es una fuente de energía, ya que su energía química puede convertirse en térmica.

Las fuentes energéticas se pueden clasificar en función de si provienen de *recursos renovables* o *no renovables*.

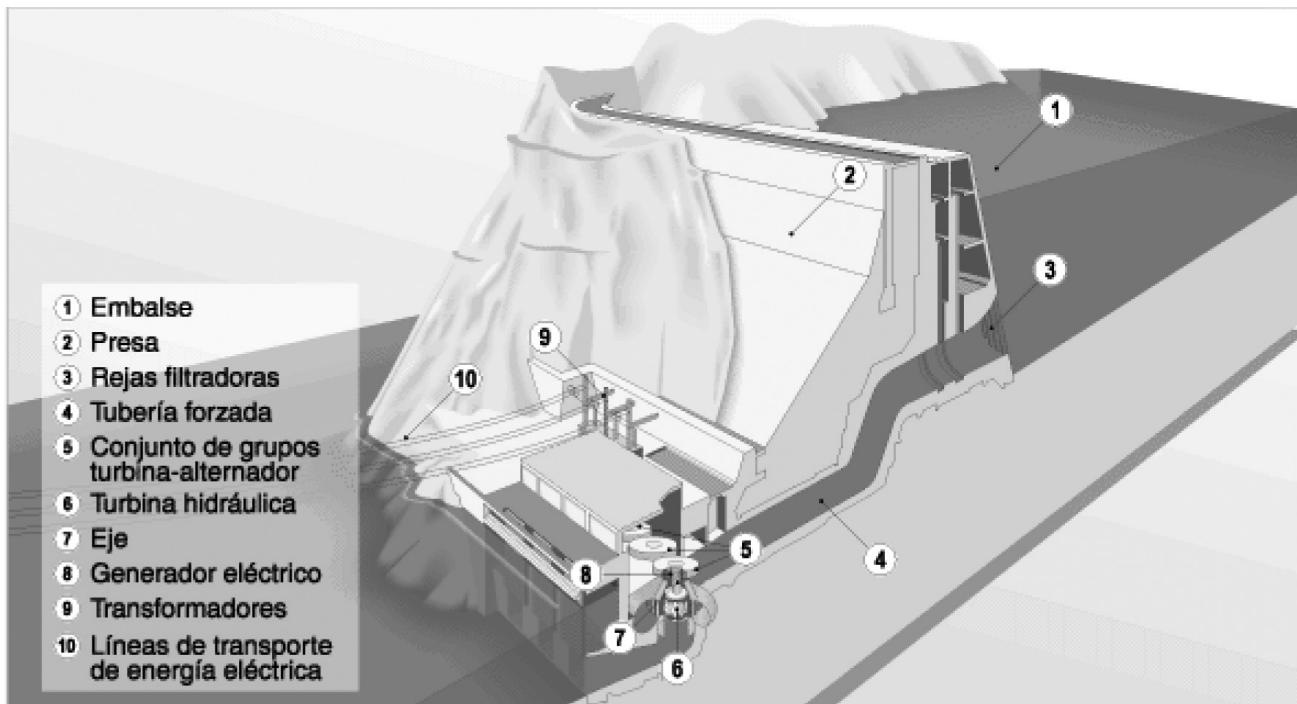
Las fuentes de energía provenientes de recursos no renovables se encuentran limitadas, y sus reservas disminuyen a medida que se consumen. Se distinguen:

1. *Carbón*. Combustible fósil producido por la acumulación de vegetales que, a causa de variaciones de presión y temperatura, han

sufrido un proceso de mineralización y carbonización. Puede ser de diferentes tipos: antracita, hulla, lignito y turba. El de mayor poder calorífico<sup>1</sup> y también el más antiguo es la antracita.

2. *Petróleo*. Combustible fósil formado principalmente por hidrocarburos, proveniente de la descomposición anóxica de los restos de organismos vivos.
3. *Gas natural*. Combustible de origen común al petróleo, formado principalmente por metano. Su utilización ha aumentado en los últimos años, ya que su conversión energética contamina menos que el resto de combustibles convencionales.
4. *Energía nuclear*. Proviene de las reacciones nucleares o de la desintegración de los átomos. La *fisión nuclear* consiste en la división de un átomo pesado, mientras que la *fusión nuclear*, investigada para poder ser utilizada comercialmente en el futuro, está basada en la unión de núcleos ligeros para formar otro más pesado. El problema de la fusión es que

<sup>1</sup> El poder calorífico de los diferentes tipos de carbón aumenta con el contenido en carbono. El de mayor poder calorífico es la antracita, seguido de hulla, lignito y turba.



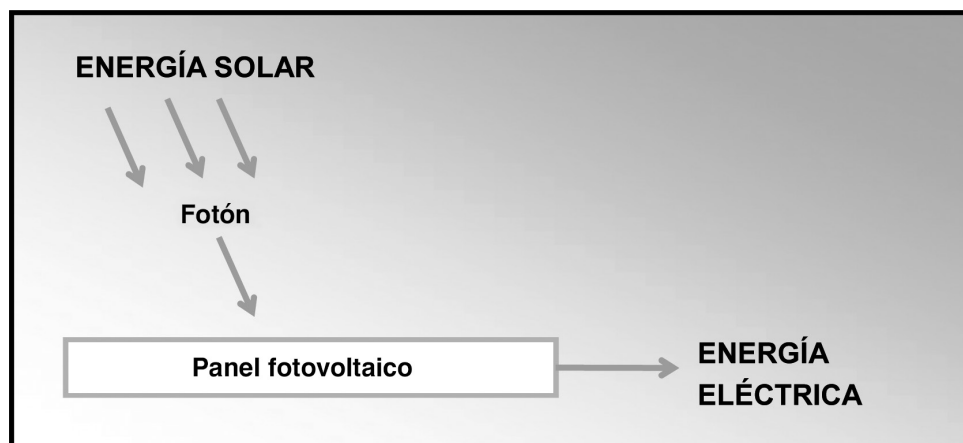
**Figura 1.6.** Esquema del funcionamiento de una central hidroeléctrica. El agua almacenada tiene una energía potencial que se transforma en cinética al abrirse las compuertas. Al caer acciona una turbina que transmite su movimiento al rotor del generador, que produce electricidad. (Fuente: UNESA).

es necesario alcanzar temperaturas de millones de grados centígrados, por lo que todavía no existen reactores adecuados.

Las fuentes que provienen de recursos renovables son inagotables. Cabe destacar:

1. *Energía hidráulica.* Obtenida a partir de la energía contenida en el agua aprovechando los saltos de las presas, Figura 1.6.
2. *Energía solar.* Proviene directamente del Sol en forma de radiación electromagnética, pudiéndose transformar en calor (energía solar térmica) o en electricidad (energía solar fotovoltaica), Figura 1.7.

3. *Energía eólica.* Producida por la fuerza del viento. Debido a su naturaleza dispersa e intermitente solo puede aprovecharse en unas zonas concretas.
4. *Energía de la biomasa.* Se obtiene de los compuestos orgánicos a partir de cultivos energéticos, residuos forestales, etc.
5. *Energía geotérmica.* Se basa en el calor que se transmite por conducción desde el interior de la Tierra hasta la superficie.



**Figura 1.7.** Representación esquemática del funcionamiento de un panel fotovoltaico. La radiación solar en forma de energía luminosa incide sobre el panel, de manera que es capaz de generar electricidad.



## ENERGÍA, TRABAJO Y CALOR

La Tabla 1.7 pone de manifiesto la necesidad de recursos según los distintos tipos de energía primaria (nuclear, carbón...) en su conversión en energía eléctrica, indicando la cantidad de combustible necesario para el funcionamiento de una central de 1.000 MW.

**Tabla 1.7.** Conversión energética. Necesidades anuales de combustible para una central de 1.000 MW, a un 75% de capacidad (Fuente: CCHEN).

CONVERSIÓN ENERGÉTICA	
Fuente energética	Cantidad anual
Uranio	30 toneladas
Carbón	$2,1 \cdot 10^6$ toneladas
Fuelóleo	$10 \cdot 10^6$ barriles
Gas natural	$1,8 \cdot 10^9$ m <sup>3</sup>
Paneles solares	10.125 ha
RSU	$6,2 \cdot 10^6$ toneladas

Un ejemplo típico de trabajo mecánico es el movimiento de los álabes de una turbina cuando se expande el vapor de agua sobre ella, es decir, el volumen del vapor con la variación de presión del mismo. La energía en forma de trabajo se manifiesta por la variación de algún parámetro externo del sistema, sean sus propias dimensiones o debido a la acción de fuerzas exteriores que lo desplazan.

A diferencia del trabajo, el calor, o mejor dicho, la transferencia de calor, se manifiesta cuando existe una diferencia de temperatura en-

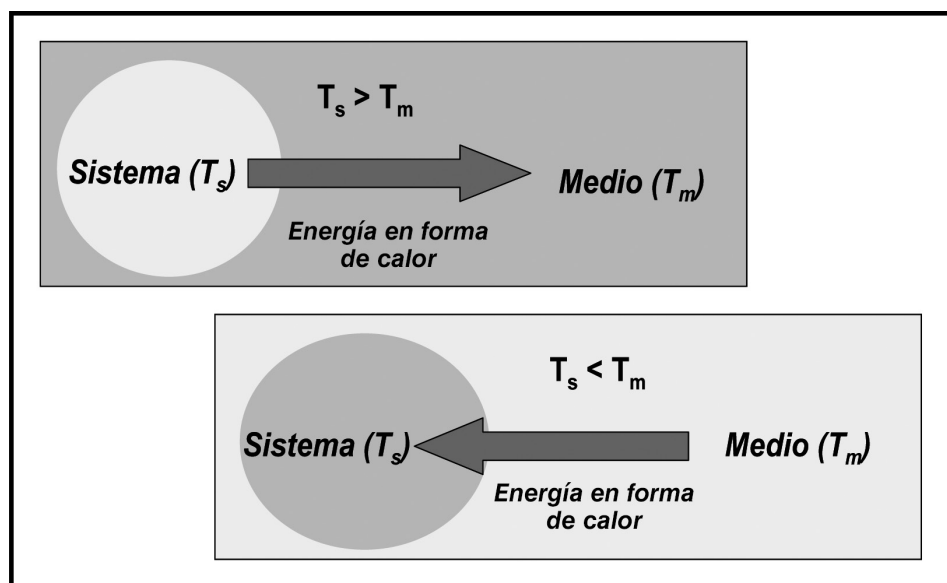
tre el sistema ( $T_s$ ) y el medio ( $T_m$ ) que lo rodea. El calor se transfiere espontáneamente desde el sistema de mayor al de menor temperatura, como muestra la Figura 1.8, variando la temperatura del propio sistema u otras características de su estado. El calor no está almacenado en un sistema, solo es una energía en tránsito.

Gran parte de todo lo comentado anteriormente sobre la energía queda reflejado en:

a) La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.

Esta es una ley universal, que gobierna todos los procesos naturales conocidos hasta la fecha, de la cual no se ha observado excepción alguna, y que constituye la ley de la conservación de la energía. Después de Einstein y en un sentido físico estricto, esta ley ha quedado ampliada con su conocida relación entre masa y energía.

Al poner en contacto un cuerpo frío con otro caliente, se sabe que se igualan sus temperaturas con el paso del tiempo, y no sucede al revés, por lo que se concluye que el proceso se realiza en una determinada dirección. Además, una vez unificadas las temperaturas no puede espontáneamente volverse a las condiciones iniciales. También es conocido que un motor térmico tiene un bajo rendimiento, es decir, es incapaz de transformar toda la energía del combustible en trabajo. Estos aspectos que afectan directamente en qué dirección se realizan y con qué aprovechamiento de energía, pueden reflejarse en:



**Figura 1.8.** Representación gráfica del intercambio de calor entre el sistema y el medio que le rodea en función de sus temperaturas. El sistema cede calor cuando su temperatura ( $T_s$ ) es mayor que la del medio ( $T_m$ ), y viceversa.