

Capítulo 1

Introducción

El futuro está en la energía. Este sector está llamado a ser el nuevo motor de la economía mundial, igualmente de la economía española. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) apunta a que en el horizonte de 2030 habrá en todo el mundo 20 millones de puestos de trabajo relacionados con las **energías renovables**.

Conviene decir en primer lugar que la energía se puede obtener de fuentes:

- **No renovables** (contaminantes). Fundamentalmente carbón, petróleo y gas natural.
- **Renovables** (limpias). Son aquellas que no varían el ecosistema y aprovechan los recursos de la naturaleza sin modificarla o perjudicarla, son inagotables desde el punto de referencia del periodo de existencia de la humanidad. Por ejemplo: hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica, solar termoeléctrica, biomasa, marina, geotérmica.

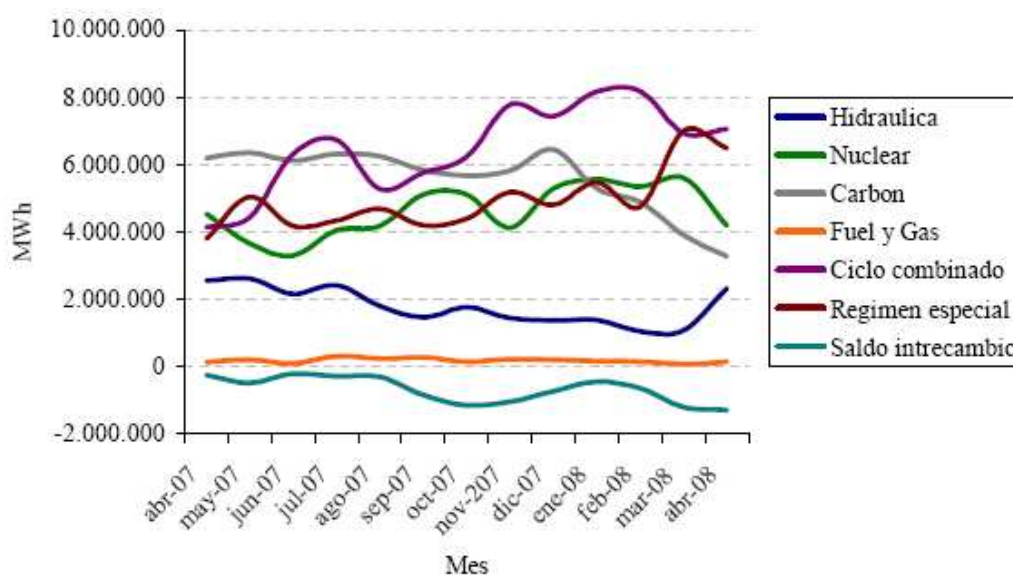


Figura. Consumo de energía eléctrica en España en función del tipo de generación entre abril de 2007 y abril de 2008.

Actualmente en España el sector de las energías renovables cuenta con más de mil empresas, que dan empleo a 200.000 personas de forma directa o indirecta. Son compañías jóvenes, con una media de 16 años de vida y dos de cada tres de ellas han aumentado su oferta de trabajo en los últimos tiempos.

Se calcula que para hacer frente al **cambio climático** y minimizar sus consecuencias, debemos conseguir una reducción del 80 % de las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2050 sobre niveles de 1990. Para conseguirlo la comunidad internacional ha fijado como Ley Internacional de cumplimiento obligatorio, desde febrero de 2005, del Protocolo de Kyoto. Cabe destacar, sin embargo, todavía hoy la existencia de puntos de controversia en dicha ley entre los diferentes países, como la exclusión de la energía nuclear como una fuente de energía útil en la reducción de emisiones de gases contaminantes.

El **dióxido de carbono** es responsable de más del 50 % del efecto invernadero producido por el ser humano, y el mayor contribuyente al cambio climático. Se produce sobre todo al quemar combustibles fósiles. El gas natural es el menos sucio de los combustibles fósiles ya que produce aproximadamente la mitad de CO₂ que el carbón, y menos cantidad de otros gases contaminantes.

Las consecuencias del cambio climático que ya son visibles hoy en día incluyen (fuente: Greenpeace):

- La proporción de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en un 30 % desde el inicio de la industrialización.
- Los siete años más calurosos de los últimos 130 se han registrado en los últimos 11 años.
- La masa de glaciares se ha reducido a la mitad desde que comenzó la industrialización.
- La pluviosidad y temperatura de latitudes norte ha aumentado un 5 % desde 1950. La velocidad medio del viento también ha aumentado significativamente.
- El nivel del mar se ha elevado 10-20 centímetros en los últimos 100 años, 9-12 cm de los cuales en los últimos cincuenta.

La **energía nuclear** es costosa, sus residuos son altamente contaminantes a largo plazo y no cuenta con el visto bueno de la opinión pública, aunque parece que cada día tiene menos oposición. Sin embargo, no emite gases contaminantes y, una vez construida la central que la produce, el coste de producción no resulta tan caro como otras fuentes de energía.

Sus detractores recuerdan los problemas de seguridad, la futura escasez de uranio, la difícil gestión de los residuos radiactivos y aseguran que son un freno para las energías renovables. Además, señalan el alto coste para construir una central nuclear y para almacenar los residuos.

Francia ha apostado por la energía nuclear y se ha afanado en firmar acuerdos con otros países, sobre todo del mundo árabe. El sector atómico francés vende así centrales, uranio de combustible y trata los residuos. Francia cuenta con 58 reactores nucleares y está construyendo otro. Con ellos genera el 78 % de su electricidad, lo que le convierte en el país del mundo con mayor porcentaje de este tipo de energía.

Quince de los 27 estados miembros de la UE tienen centrales nucleares en funcionamiento, con 145 reactores en operación que producen un tercio de la electricidad consumida en Europa.

En términos energéticos, cabe destacar la fuerte **dependencia exterior** de España, que obliga a acudir a los mercados vecinos para comprar el 81 % de la energía primaria que se consume. La promoción de energías renovables se considera la única estrategia válida para reducir nuestra dependencia exterior. Actualmente, existen seis centrales nucleares en España con ocho reactores operativos que producen un 20 % de la energía eléctrica que se consume. Evitan así la emisión anual de 40 millones de toneladas de CO₂, la mitad del parque automovilístico español. Además, trabajan en el sector unas 30.000 personas, entre puestos directos e indirectos. El debate está abierto.

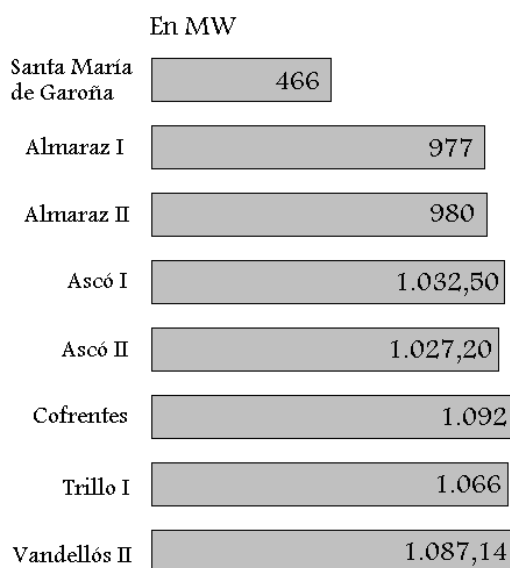


Figura. Centrales nucleares en España.

El **impacto ambiental** en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables según los resultados del estudio ‘Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad’, elaborado por AUMA y auspiciado por ocho instituciones entre las que se encuentran los órganos competentes de cinco gobiernos autonómicos (Cataluña, Aragón, País Vasco, Navarra y Galicia), el IDEA, el CIEMAT y la Asociación de Productores de Energías Renovables-APPA.

En Europa, un tercio de las emisiones de CO₂ provienen de la generación de electricidad con fuentes convencionales. Cada segundo, se envían a la atmósfera 1000 toneladas de gases nocivos.

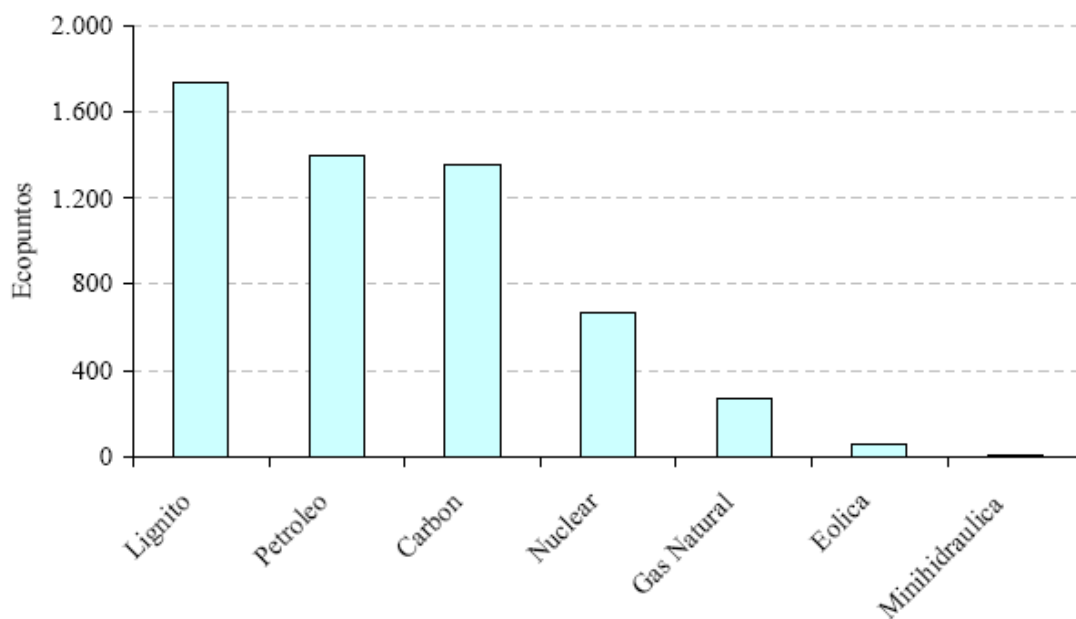


Figura. Ecopuntos de impacto medioambiental de diferentes fuentes de energía.

Fuente de energía	CO ₂ [t/GWh]	NO _x [t/GWh]	SO ₂ [t/GWh]	Partículas sólidas en suspensión [t/GWh]	CO [t/GWh]	Hidro-carburos [t/GWh]	Residuos nucleares	Total
Carbón	1.058	2,986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1.066
Gas natural	824	0,251	0,34	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	9	0,034	0,03	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	6	0,008	0,02	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0	0,614	0,15	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	57	TR*	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eólica	7	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar térmica	4	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica	7	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

Tabla. Comparación de emisiones t/GWh. Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y Worldwatch Institute.

Por otra parte, reducir el consumo de energía, a través del **ahorro** y la **eficiencia**, es tan necesario como sustituir las fuentes de energía contaminantes por limpias y renovables.

El cambio climático no es el único de los grandes problemas que causa la utilización masiva de los combustibles fósiles en el actual modelo energético. El petróleo, el gas y el carbón son **recursos limitados** y no distribuidos equitativamente por el planeta.

En 2008, el **precio del petróleo** alcanzó los 140 dólares el barril antes de hundirse con el resto de la economía, lo que indica los riesgos de supeditar el futuro a alto tan **poco predecible** como el petróleo.

El **Consejo Europeo** aprobó un **plan energético obligatorio** en marzo de 2007 que incluye un recorte del 20 % de sus emisiones de dióxido de carbono antes del año 2020, y recomendó cubrir con energías renovables el 20 % del consumo total de energía. Además reconoció el papel de la energía nuclear en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, correspondiendo a cada Estado miembro decidir si recurrirá o no a esta tecnología. Estos objetivos se concretaron en la **Directiva 2009/28/CE**, aprobada en diciembre de 2008.

En abril de 2010 se presentó en Bruselas el informe de la **European Climate Foundation**. El informe concluye que el desarrollo del sector de las energías renovables en Europa necesitará unas inversiones de unos **52.000 millones de euros anuales** de media hasta el año 2050 para que la energía solar y la eólica puedan reemplazar progresivamente al petróleo, el gas y el carbón como principales fuentes de energía. Esta cantidad representa el 2.5 % de los gastos anuales de la UE. Los Estados miembros invierten al año 58.000 millones de euros en carreteras.

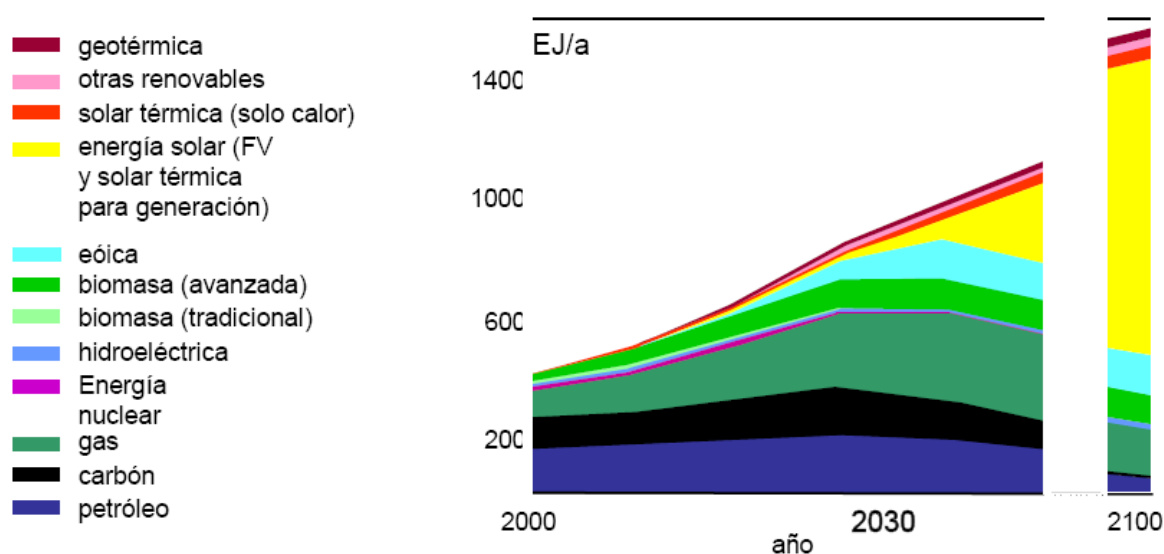


Figura. Camino ejemplar, energía primaria global. Fuente: German Advisory Council on Global Change, www.wbgu.de.

En **España**, el **Plan de Fomento de las energías renovables** ha asumido el mismo objetivo global asumido por la UE en el Libro Blanco de las Energías Renovables. El importe total de los incentivos a la producción de electricidad mediante energías renovables ascenderá a 1.818 millones de euros en el año actual, como compensación por las externalidades evitadas, dado que las energías renovables evitan la emisión de millones de toneladas de CO₂, reducen nuestra dependencia energética y crean miles de empleos.

Los proyectos puestos en servicio en España hasta el año 2010 supondrán una inversión de 23.598 millones de euros, y tan sólo el 2.9 % de los fondos invertidos corresponderán a fondos públicos (680.9 millones de euros).

Existen sin embargo ciertas barreras que dificultan la instalación de energías renovables en España. Entre ellas encontramos barreras financieras: debido a que resulta imprescindible la financiación de los proyectos a través de entidades financieras, es necesario demostrar una rentabilidad atractiva. Para ello, es fundamental un marco normativo estable, además de establecer mecanismos basados en **primas a la producción**.

Cuando se anunció en el verano de 2007, la **prima en España** para la energía solar era la más generosa del mundo (58 céntimos por kilovatio-hora¹). Con el tiempo, se ha visto que era demasiado alta (se construyeron plantas de baja calidad y mal diseñadas). Ahora se ajusta trimestralmente: es de unos 39 céntimos por kilovatio-hora de electricidad de plantas de energía solar independientes, y ligeramente superior para los paneles en tejados.

Por otro lado se ha de hacer notar el **laberinto administrativo** que ha de afrontar el promotor de instalaciones de energías renovables para materializar su proyecto: actualmente se encuentran en vigor hasta sesenta normas, y cuarenta trámites que han de presentarse en las diversas administraciones a nivel local, regional y central, llegando a existir confusión en materia de competencias. Situación que se agrava con el incumplimiento de plazos por parte de las distintas administraciones. Para superar esta barrera, solamente sería necesario que las administraciones se comprometiesen a cumplir en tiempo y forma la normativa vigente, definida en el artículo 6 de la Directiva Europea 2001/77/CE, en el que se fomenta la agilidad y racionalidad de los procesos administrativos, así como la objetividad y transparencia de las normas.

Otro de los factores que suponen una barrera a la promoción de las energías renovables en España, es el tratamiento de **acceso de conexión a la red**.

La creciente demanda de conexión de nueva generación, unida a la escasez de capacidad de red en muchos puntos, y la ausencia de una normativa nacional que garantice la preferencia de acceso a las energías renovables a través de unos criterios claros y generales, está ocasionando conflictos entre las nuevas instalaciones y las existentes, a efectos de capacidad de red.

El presupuesto del gobierno de Barack Obama para 2010 prevé duplicar en tres años la capacidad nacional de producción de energías renovables. Las turbinas eólicas y los biocombustibles serán una aportación importante. Pero ninguna forma de **energía** es **más abundante** que la del **sol**.

¹ Un kilovatio-hora hará brillar una bombilla de 100 vatios durante 10 horas.

Cada hora, el sol inunda la Tierra con un torrente de energía térmica equivalente a 21.000 millones de toneladas de carbón.

La energía total que necesitamos en todo el mundo es de unos 16 teravatios (un teravatio equivale a un billón de vatios). Para 2020 necesitaremos 20 teravatios, y el sol derrama 120.000 teravatios sobre las tierras emergidas del planeta. O, dicho de otro modo, una energía 6.000 veces superior al consumo mundial de electricidad se derrama constantemente sobre la Tierra. Desde este punto de vista, podemos decir que la **energía solar** es virtualmente ilimitada.

Bastaría cubrir con paneles fotovoltaicos tres milésimas de la superficie de Estados Unidos (un cuadrado de 160 kilómetros de lado) para suministrar electricidad a todo el país.

La mitad de la energía solar instalada en todo el mundo en 2008 se instaló en España. Aunque el objetivo de España a largo plazo era producir 400 megavatios de electricidad de paneles solares para 2010, alcanzó ese nivel a finales de 2007. En 2008, la nación conectó 2.5 gigavatios de energía solar a la red eléctrica, aumentando más de cinco veces su capacidad y convirtiéndola en la segunda del mundo, por detrás de Alemania, la líder mundial.

Los expertos predicen que, posiblemente el año que viene, Italia será el primer lugar donde la electricidad de origen solar no necesitará subvenciones para competir con la electricidad producida con combustibles fósiles.

La energía solar fotovoltaica ofrece el mayor potencial de utilización en forma dispersa y diversificada. Por su carácter modular, puede aprovecharse en el campo y en la ciudad, en lugares poblados y despoblados, o en pequeños y grandes emplazamientos.

De modo general, el **presente trabajo** se centrará en el estudio de la **energía solar fotovoltaica**, los conceptos físicos que la hacen posible, los componentes y materiales que implican su desarrollo, sus modos de aprovechamiento, y los aspectos técnicos que requieren la atención de los ingenieros, tales como los diferentes **métodos de detección en isla** conocidos, el **control pq** y el **modo de modulación PWM** empleados en la mayoría de inversores presentes en de plantas de generación fotovoltaica.

Desde un punto de vista técnico, se realizará además la **simulación de una planta fotovoltaica conectada a red** en el programa informático **ATP-EMTP**, con el fin de comprobar el comportamiento del sistema eléctrico ante las tensiones de alta frecuencia generadas por los inversores que componen la planta fotovoltaica.

El paquete informático ATP-EMTP permite simular procesos transitorios electromagnéticos y de sistemas de control en sistemas eléctricos polifásicos de potencia. Los estudios más habituales son: transitorios de maniobras, impulsos atmosféricos, coordinación de protecciones, ferresonancia, análisis de armónicos, arranque de motores, sistemas de control y sistemas de alta tensión en corriente continua (HVDC), entre muchos otros posibles.

ATP-EMTP posee herramientas propias, TACS y MODELS, que permiten la modelación de sistemas de control y sistemas físicos complejos en el dominio del tiempo. El primero usa la representación en diagramas de bloques para la modelación del sistema y el segundo lo hace mediante una programación estructurada. La flexibilidad del lenguaje MODELS permite editar ó ampliar los modelos existentes e inclusive implementar y experimentar con nuevos modelos. Cabe destacar por tanto su modularidad y facilidad de uso.

El trabajo prosigue con la presentación de los resultados gráficos de las simulaciones realizadas, y con un capítulo dedicado al análisis y conclusiones de dichos resultados.

Finalmente, en el Capítulo 6, se ponen de manifiesto las tendencias futuras del sector fotovoltaico mundial, prestando atención a la posibilidad de integración de esta energía renovable de un modo competitivo en el mix eléctrico, así como su presencia en la vida cotidiana de un número cada vez mayor de ciudadanos por todo el mundo.

Para concluir, se facilita al lector un apéndice dedicado al programa de simulación ATP-EMTP, con el fin de mostrar su manejo y las posibilidades que ofrece.