

## FUENTES ENERGÉTICAS

Por ANTONIO COLINO MARTÍNEZ  
y RAFAEL CARO

Las fuentes de energía son elaboraciones naturales más o menos complejas de las que el hombre puede extraer energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad, y aunque existen innumerables fuentes de energía, en última instancia, toda la energía procede del Sol (salvo la energía geotérmica de nuestro planeta Tierra y la energía nuclear de fisión).

Desde la Prehistoria, cuando la humanidad descubrió el fuego para calentarse y asar los alimentos, pasando por la Edad Media en la que construía molinos de viento para moler el trigo, hasta la época moderna en la que se puede obtener energía eléctrica a partir de la fisión del átomo de uranio, el hombre ha buscado incesantemente fuentes de energía de las que sacar algún provecho para nuestros días. Han sido los combustibles fósiles; por un lado el carbón para alimentar las máquinas de vapor industriales y de tracción ferrocarril así como los hogares, y por otro, el petróleo y sus derivados en la industria y el transporte (principalmente el automóvil), si bien éstas convivieron con aprovechamientos a menor escala de la energía eólica, hidráulica, biomasa, etc.

Las fuentes de energía no renovables son aquellas que existen en una cantidad limitada en la Naturaleza. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes. Las más comunes son carbón, petróleo, gas natural y uranio.

Dicho modelo de desarrollo, sin embargo, está abocado al agotamiento de los recursos fósiles, sin posible reposición pues serían necesarios periodos de millones de años para su formación.

La búsqueda de fuentes de energía inagotables –llamadas las fuentes de energía renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna–, y el intento de los países industrializados de fortalecer sus economías nacionales reduciendo su dependencia de los combustibles fósiles, concentrados en territorios extranjeros tras la explotación y casi agotamiento de los recursos propios, les llevó a la adopción de la energía nuclear y en aquellos con suficientes recursos hídricos, al aprovechamiento hidráulico intensivo de sus cursos de agua.

Las renovables, como el Sol, permiten una explotación ilimitada, ya que la Naturaleza las renueva constantemente. Las no renovables como el carbón, aprovechan recursos naturales cuyas reservas disminuyen con la explotación, lo que las convierte en fuentes de energía con poco futuro, ya que sus reservas se están viendo reducidas drásticamente, figura 1.

## **Fósiles**

En términos generales se entiende por combustible aquella sustancia capaz de quemar, es decir, combinarse rápidamente con oxígeno (tomado del aire) con un desprendimiento de calor más o menos elevado. En la Naturaleza existen muchos productos a los que se podría aplicar esta definición tan amplia, pero a nivel industrial se restringe enormemente el número de sustancias que desde un punto de vista práctico y económico se pueden utilizar como combustibles. Se caracterizan por estar constituidos por una mezcla de pocos elementos: carbono, hidrógeno y azufre son los elementos mayoritarios y realmente combustibles. El resto (mucho más reducido cuantitativamente) está formado por humedad, cenizas, oxígeno y nitrógeno.

Los combustibles fósiles provienen de residuos fermentados de seres vivos, que fueron sepultados durante la era de los grandes cataclismos. Todas las previsiones indican que, en un futuro próximo, la energía primaria más utilizada seguirá siendo la procedente de combustibles fó-

EFICIENCIA ENERGÉTICA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE					
FUENTES DE ENERGÍA			USO FINAL DE LA ENERGÍA		
Descentralizada	Eólica	Aerogeneradores	Electricidad	Industrial	Equipamiento eléctrico
	Hidráulica	Turbinas hidráulicas			Electrodomésticos
Centralizada	Materiales fisionable	Fisión nuclear	Calor	Residencial	Equipamiento electrónico
		Fusión nuclear			Motores eléctricos
	Transmisión de calor	Transformadores			
	Combustión	Grupos electrógenos			
	Gasificación	Sistemas de refrigeración			
	Generador de vapor	Motores térmicos			
Carbón	Biomasa	Pirólisis	Doméstico	Transporte	Motores de combustión interna
		Alternadores			Bombas de calor
Cogeneración	Geotérmica	Turbina de vapor	Hidrógeno	Terciario y servicios	Sistemas de calefacción
		Fermentación			Inversores de corriente
	Esterificación	Pilas de combustible			
	Cracking catalítico				
Distribuida	Petróleo	Destilación fraccionada			
		Oxidación catalítica			
Autónoma	Gas natural	Turbinas de gas			
		Reformado de gas			
	Solar	Solar	Fotólisis		
Electrólisis					
TRANSPORTE, TRANSFORMACIÓN Y ALMACENAMIENTO					

Figura 1.- Fuentes de energía.

siles, es decir, en este grupo se incluyen: el carbón, el petróleo, el gas natural y sus derivados.

Estos combustibles suministran la mayoría de las cestas energéticas, tanto es así que algunas previsiones apuntan que en el año 2020 el 90% de la producción mundial se basará en estos compuestos. Sin embargo, de todos es sabido que las reservas de estos recursos son limitadas.

## **Reservas de combustibles fósiles**

Las reservas pueden definirse en términos de reservas probadas (extraíbles y rentables económicamente) y reservas probables, estimadas en años de consumo a un ritmo equivalente y con la producción actual.

### *Carbón*

El carbón se encuentra en casi todas las regiones del mundo, pero en la actualidad los únicos depósitos de importancia comercial están en Europa, Asia, Australia, Suráfrica y América del Norte.

En Gran Bretaña, que fue el líder mundial en producción de carbón hasta el siglo XX, existen yacimientos en el sur de Escocia, Inglaterra y Gales. En Europa Occidental hay importantes depósitos de carbón en toda la región francesa de Alsacia, en Bélgica y en los valles alemanes del Sarre y el Ruhr. En Centroeuropa hay yacimientos en Polonia, la República Checa y Hungría. El yacimiento de carbón más extenso y valioso de la antigua Unión Soviética es el situado en la cuenca del Donets, entre los ríos Dniéper y Don; también se han explotado grandes depósitos de la cuenca carbonera de Kuznetsk, en Siberia Occidental. Los yacimientos carboníferos del noroeste de China, que están entre los mayores del mundo, fueron poco explotados hasta el siglo XX.

Cuando los expertos realizan estimaciones sobre la cantidad de carbón en el mundo, distinguen entre reservas y recursos.

Se consideran reservas los depósitos de carbón que pueden ser explotados con la tecnología existente, es decir, con los métodos y equipos actuales.

Los recursos son una estimación de todos los depósitos de carbón existentes en el mundo, independientemente de que sean o no accesibles desde el punto de vista comercial.

Las exploraciones geológicas han permitido localizar los yacimientos de carbón más extensos del mundo. En el año 1997 las reservas mundiales de carbón ascendían a 1,04 billones de toneladas y los recursos se estimaron en 9,98 billones.

Geográficamente estas reservas se distribuyen así: Europa, incluidas Rusia y las antiguas repúblicas soviéticas 44%; Norteamérica 28%; Asia 17%; Australia 5%; África, 5% y Suramérica 1%.

### *Petróleo y gas*

El petróleo es la fuente de energía más importante de nuestra sociedad moderna siendo un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo. La importancia del petróleo no ha dejado de crecer desde sus primeras aplicaciones industriales a mediados del siglo XIX, extendiéndose y diversificándose hasta unos límites cotidianos que tan sólo habría que pensar en qué pasaría si de forma repentinamente se acabara, para llegar a la simple conclusión de que se trataría de un verdadero desastre a nivel global del planeta, desde el claro e inminente concepto del transporte por tierra, mar y aire, y afectando a todas las industrias productoras de los subproductos derivados del mismo, base de la sociedad moderna.

Además, tal como vaticinan los precedentes habidos a lo largo de la corta historia de la humanidad basada en esta fuente energética, responsable de algunos de los conflictos bélicos en algunas partes del mundo (Oriente Medio), las economías de la inmensa mayoría de los países dependientes del petróleo entrarían en bancarrota.

La alta dependencia que el mundo tiene del petróleo, la inestabilidad que caracteriza al mercado internacional y las fluctuaciones de los precios de este producto, han llevado a que se investiguen energías alternativas, aunque hasta ahora no se ha logrado una opción que realmente la pueda sustituir.

La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) constituye hoy uno de los principales agrupamientos mundiales cuya acción determina en cierta manera el curso de los acontecimientos económicos de los países de Occidente. El control que ejerce sobre los precios del petróleo y la unidad que hasta el momento han tenido sus decisiones, la han convertido en un poderoso instrumento de defensa de los intereses de los países productores de petróleo, figura 2.



Figura 2.– OPEP.

El grueso de las reservas de petróleo de la OPEP se halla en Oriente Medio, en países donde Arabia Saudí, Irán e Irak constituyen con casi un 55% al total de esta Organización.

El 86% de las reservas mundiales de petróleo y el 83% de las reservas de gas natural se concentran en los países de la OPEP y de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), mientras que en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo

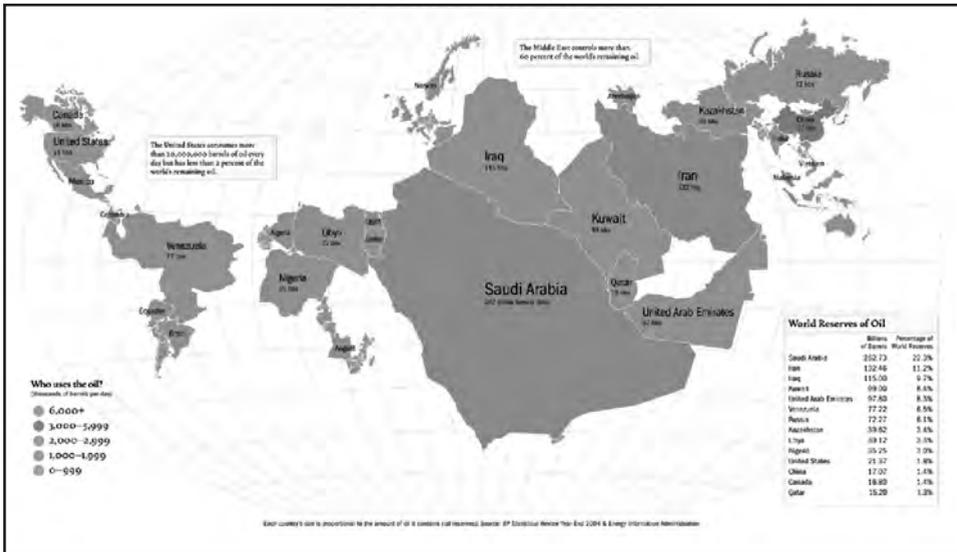


Figura 3.– Who has the? (¿Quién tiene el petróleo?).

Económico (OCDE) las reservas son de un 7% y de un 8,8%, respectivamente, con un consumo del 60% y del 50% de las reservas mundiales de petróleo o de gas natural, figura 3.

Esto significa que la economía de los países de la OCDE, y en especial de España, están sometidas a la fluctuación de precios de la OPEP y de la antigua URSS. Con respecto a las reservas de hidrocarburos de las repúblicas pertenecientes a la antigua URSS, Asia Central representa un importante papel por sus grandes yacimientos de petróleo y gas. La explotación de estos recursos se hallan a tenor de unas condiciones político-económicas muy complejas, cuyo futuro no resulta fácil de dilucidar, figura 4.

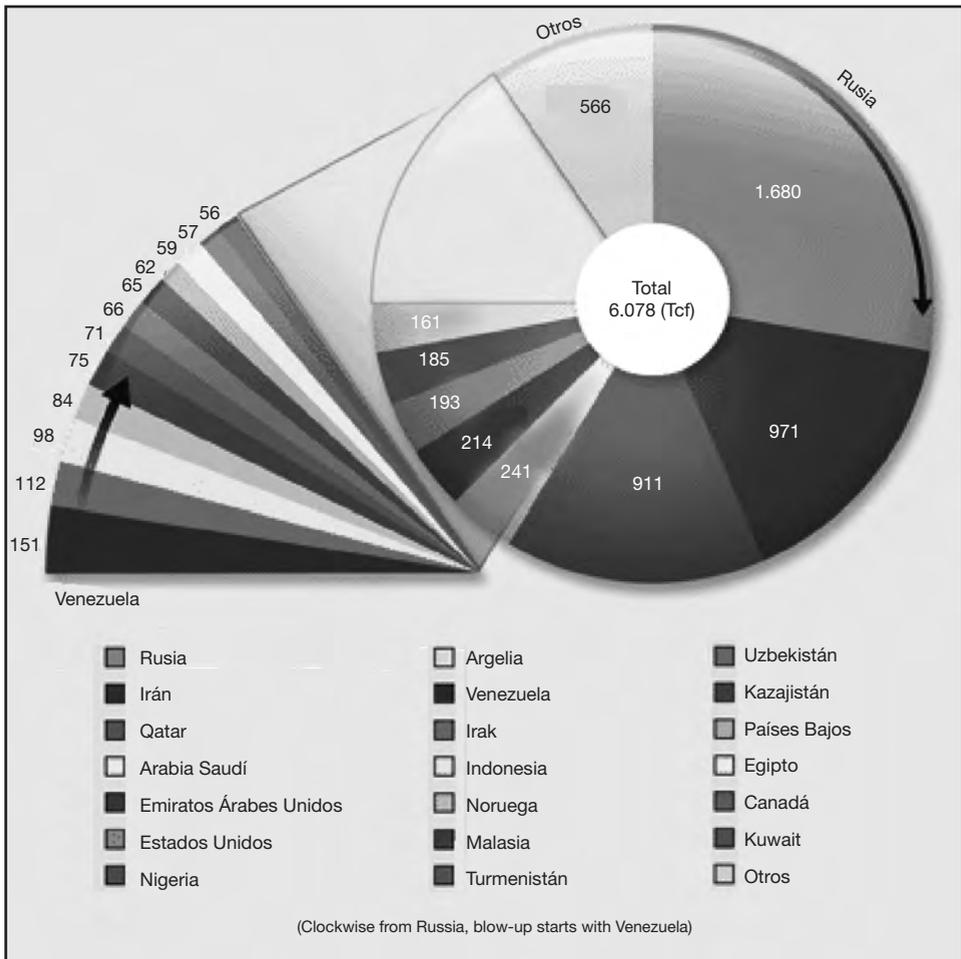


Figura 4.- Distribución de las reservas de gas.

## Renovables

Las fuentes de energía que utilizan recursos no agotables temporalmente, al menos a escala humana, en general se consideran energías renovables o ilimitadas como fuentes de energía que utilizan cualquier recurso natural de origen no fósil (carbón o hidrocarburos) ni procedente de la fisión o fusión nuclear.

El Sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El Sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del Sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del Sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el Sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

Así, de esta forma la primera fuente de energía aprovechada por el hombre fue la solar. Cuenta la Historia que Arquímedes (287-212 a. C.), científico al servicio del rey Herón II, quemó las naves de Marcelo por medio de espejos cóncavos situados en la dirección de los rayos del Sol, que fueron reflejados contra la flota romana hasta reducirla a cenizas a la distancia de un arco de ballesta. Esta misma idea de los espejos fue también utilizada en el sitio de Constantinopla en el año 626.

Estas energías renovables utilizan como energía primaria la energía hidráulica (se consideran sólo los pequeños aprovechamientos), la energía eólica (aprovechamiento del potencial de viento), la energía solar, tanto en usos térmicos (calentamiento de fluidos) como fotovoltaica (producción de energía eléctrica), la energía geotérmica, y las energías marinas (olas y mareas). Junto a estas modalidades, se incluye la biomasa, ya que aunque en su uso se emite dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), éste ha sido previamente fijado en el combustible, por lo que su balance global a este respecto es aproximadamente neutro.

Con respecto a las llamadas energías alternativas (eólica, solar, hidráulica, biomasa, mareomotriz y geotérmica), cabe señalar que su explotación a escala industrial, es fuertemente contestada incluso por grupos ecologistas, dado que los impactos medioambientales de estas instalaciones y las líneas de distribución de energía eléctrica que precisan pueden llegar a ser importantes, especialmente, si como ocurre con fre-

cuencia (caso de la energía eólica) se ocupan espacios naturales que habían permanecido ajenos al hombre.

Los países desarrollados comenzaron a impulsar este tipo de energías como consecuencia de la crisis de los hidrocarburos de los años setenta. Esta crisis había causado efectos negativos muy importantes en sus economías. En aquellos momentos la participación del petróleo en los balances de energía primaria de estos países alcanzaba tasas mayoritarias, del orden del 50% o más (en España el 70%), la elevación de los precios del petróleo era continua, había una incidencia muy negativa en sus balanzas de pagos, etc. Los responsables de las políticas energéticas de estos países centraron su atención, entre otras medidas, en la posibilidad del desarrollo de las energías renovables, por sus características de fuentes autóctonas, renovables y poco contaminantes.

Más recientemente, durante la década de los años noventa, el principal argumento para la promoción de este tipo de energías, renovables y cogeneración, ha sido el punto de vista medioambiental. El objetivo de su desarrollo sostenible exigía, entre otras cosas, la limitación de emisiones de gases de efecto invernadero y por ello el cumplimiento del Protocolo de Kioto es uno de los motivos que más se esgrimen para el fomento de estas energías.

### **Combustible nuclear: uranio**

El único elemento fisionable que existe en la Naturaleza es el uranio (U-235), en una proporción isotópica del orden del 0,7%, aunque el isótopo mayoritario, el U-238, es un material fértil, da lugar por absorción de neutrones, a plutonio (Pu-239), que es también fisionable.

El Pu-239, procedente del reprocesado de los elementos combustibles gastados, se reutiliza en la fabricación de nuevos elementos combustibles nucleares de óxidos mixtos (MOX).

Sin embargo, la primera parte del denominado ciclo del combustible es la que se inicia en la extracción de mineral de uranio en las actividades mineras hasta que el elemento combustible llega al reactor nuclear.

Esta primera parte está constituida por cuatro etapas que son, por orden:

1. La minería del uranio.
2. La fabricación de concentrados.

3. La conversión.

4. El enriquecimiento de la proporción del U-235 respecto del U-238, hasta valores del orden del 4%.

De forma general, las dos primeras se efectúan en una misma instalación, situada a pie de mina, y las otras dos se realizan en un proceso completo todo él dentro de la misma instalación.

Una vez extraído el mineral radiactivo de la mina, y reducido a un tamaño y forma apropiada, se somete a un proceso hidrometalúrgico del que se obtiene un concentrado de uranio en forma de diuranato u óxido de color amarillo denominado *yellow cake* ( $U_3O_8$ ).

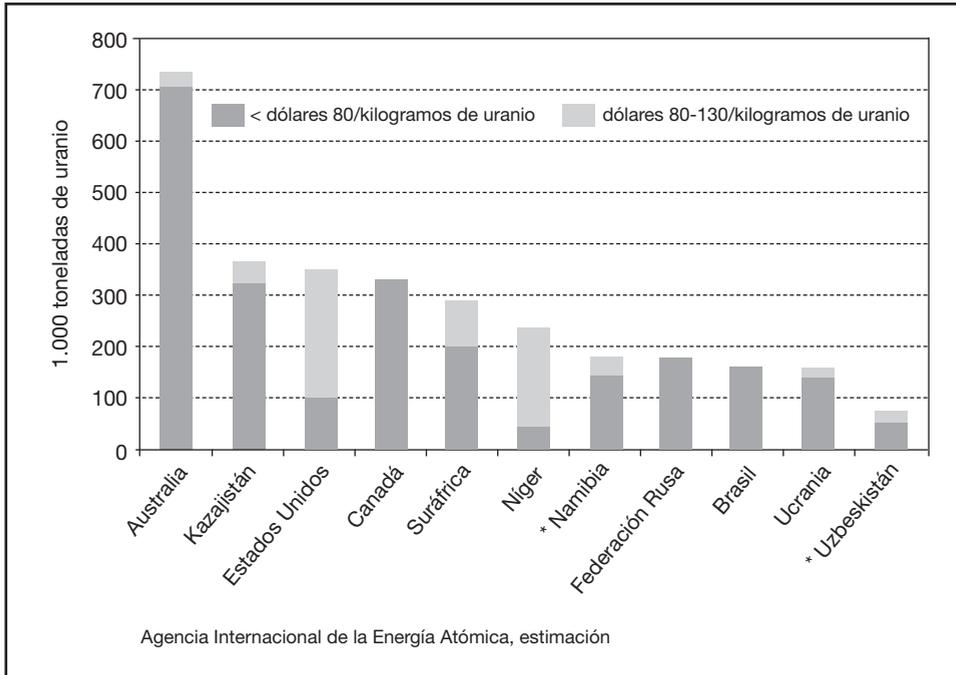
Posteriormente, el concentrado se purifica y se transforma en hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ), compuesto utilizado para la separación isotópica posterior. Por medio de difusión, centrifugación u otro proceso al que se somete el  $UF_6$ , se consigue elevar el contenido en el isótopo fisionable.

Con posterioridad a estas etapas, y dentro de la primera parte del ciclo, se procedería a la reconversión del  $UF_6$  enriquecido en óxido de uranio ( $UO_2$ ) con el que se procedería a la fabricación de los elementos combustibles.

### *Reservas de uranio*

El uranio se encuentra repartido omnipresente en la Naturaleza pero al igual que sucede con la mayoría de las materias primas no puede utilizarse directamente en los reactores nucleares, constituyendo en proporciones muy pequeñas las rocas de la corteza terrestre e incluso estando presente en el agua de los océanos, aunque su concentración varía y en algunas ocasiones, se producen concentraciones mayores en algunos lugares que dan lugar a posibles minas como las 200.000 ppm (partes por millón) de los yacimientos de Canadá.

La variación de los precios de las materias primas energéticas y la concentración de uranio en el mineral determinan la viabilidad y rentabilidad de las reservas de uranio a nivel mundial. Así pues si un precio extremadamente elevado fuese tolerable, los yacimientos con bajas concentraciones del mineral podrían considerarse reservas, en las que la cantidad de uranio potencialmente extraíble aumenta de forma exponencial.



**Figura 5.**– Distribución de las reservas de uranio, en el año 2007.

Los yacimientos de uranio se clasifican, en primer lugar en recursos identificados, compuestos por los recursos asegurados razonablemente, y las reservas estimadas. Si bien existen otras, aún no descubiertas que se conocen bajo la denominación de reservas pronosticadas y reservas especulativas.

Las reservas mundiales de uranio razonablemente aseguradas según costes (<80 dólares/kilogramo de uranio) están desigualmente distribuidas desde el punto de vista geográfico. El 24,5% se encuentran en Australia, el 17,3 % en Kazajistán, el 13% en Canadá y el 8,6% en Suráfrica. En Europa, solamente están localizadas el 1,2% de las reservas totales mundiales, figura 5.

España cuenta con unas reservas de uranio evaluadas en aproximadamente 4.650 toneladas de  $U_3O_8$  a costes de explotación inferiores a 80 dólares/kilogramo de uranio y 12.160 toneladas a costes comprendidos entre 80 y 130 dólares/kilogramo de uranio y si bien esto representa el segundo país europeo en importancia, detrás de Francia, las reservas

de uranio españolas no son rentables en las condiciones económicas y técnicas actuales. Pero sin lugar a duda el principal hecho que debe ser entendido, a diferencia del gas o del petróleo, es que el coste del mineral de uranio es una mínima fracción del coste del kilowatio eléctrico de origen nuclear.

## **Bibliografía**

COLINO MARTÍNEZ, Antonio: «Historia, energía e hidrógeno», discurso en la recepción pública en la Real Academia Ingeniería, 2004.

COLINO MARTÍNEZ, Antonio y GARCÍA FRESNEDA, Enrique: «Panorama actual de la energía en España, alternativas de evolución futura y su relación con el entorno», conferencia sobre energía.

*Energía y Sociedad en el siglo XXI*, Consejo de Seguridad Nuclear, 2000.

*Energía. Una visión económica*, Club Español de la Energía, 2008

*Medio ambiente y alternativas energéticas sostenibles*, Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid, 2004.