

Energías renovables y CO₂: estado actual y costes

Introducción

El presente estudio pretende facilitar a expertos e interesados información tecnológica actualizada del sector de las energías renovables y de cambio climático, haciendo especial incidencia en datos numéricos de producción y costes, así como las tendencias tecnológicas con más futuro en el sector. También pretende generar un foro de debate que permita impulsar una constante actualización de contenidos, así como servir de elemento catalizador de consensos y avances en este sector.

El estudio comienza con un primer capítulo dedicado al análisis del estado actual y costes de producción de energía a partir del conjunto de fuentes convencionales y renovables, así como distintos indicadores relacionados con las emisiones de CO₂ y su impacto medioambiental.

En los capítulos siguientes se realiza un estudio más detallado de cada una de las fuentes de energía renovable: biocombustibles, energía solar termoeléctrica, energía fotovoltaica, energía de los océanos, energía eólica, biomasa, energía solar térmica, energía hidráulica y energía geotérmica.

Además de lo anterior, se ha considerado apropiado realizar un estudio de la producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovable, así como otro estudio que analiza las distintas tecnologías de células de combustible.

También se analizan las distintas tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica, así como el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes, dado que se consideran elementos esenciales para una mayor penetración de las energías renovables en el mix energético.

Otra tecnología que se analiza en detalle es la de captura y almacenamiento de CO₂, completándose el SET con el estudio de la tecnología de fusión nuclear.

En cada una de las tecnologías se trata de dar una descripción general y sintética de la misma, procediendo también a analizar el estado actual de las subtecnologías que la integran, en sus distintas vertientes. Otro apartado es el estudio de los costes actuales de la tecnología y una proyección de los costes futuros esperados. También se trata de aportar información sobre emisiones de CO₂, razones de retorno energético y costes externos en función de la información disponible y del interés para cada una de las tecnologías. Seguidamente se hace una descripción de las tendencias tecnológicas futuras, acompañada de noticias destacadas, tanto en aspectos de preproducción como de innovación, esperando que este apartado sea foco principal de debate en el foro. Por último, se analiza la evolución de las estadísticas de literatura en cada tecnología desde el año 2001 y se interpretan.

1.- Uso actual y potencial teórico de las energías convencionales y renovables

Aunque pudiera resultar sorprendente, el porcentaje de energía primaria a nivel mundial suministrada a partir de fuentes de energía renovable frente al total se ha mantenido prácticamente constante en los últimos 30 años (figura 1a)^[1]. Esto no significa que no haya habido un crecimiento significativo de esta forma de producir energía a escala global, sino que las tasas de crecimiento de la energía primaria producida a partir de fuentes convencionales también ha crecido a un ritmo muy similar (figura 1b)^[1].

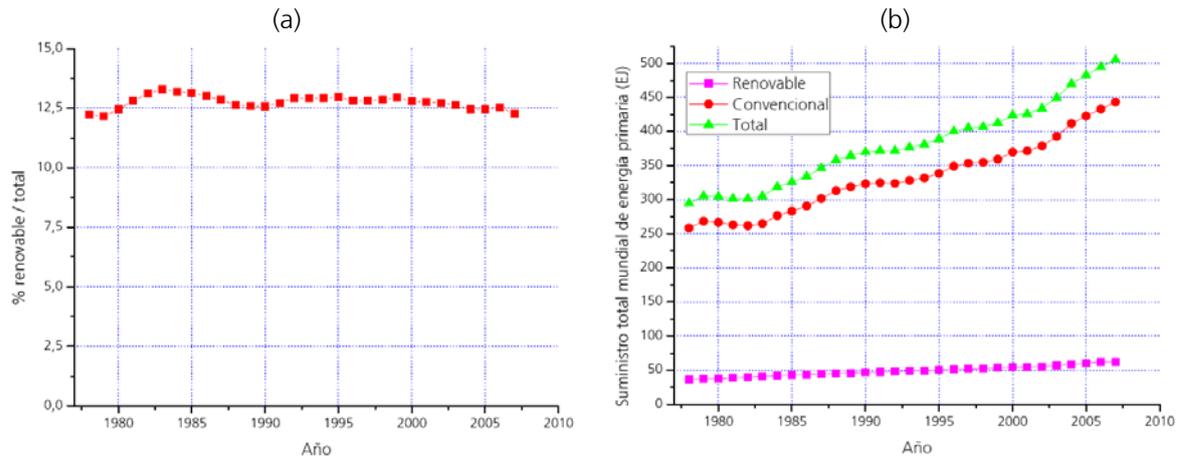


Figura 1.- (a) Porcentaje de energía primaria a nivel mundial suministrada a partir de fuentes de energía renovable; y (b) evolución del suministro de energía primaria a partir de fuentes de energía renovable, convencionales y total (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

Por otra parte, si desagregamos en tipos de fuentes de energía renovable y convencional la evolución mostrada en la figura 1b, se puede comprobar cómo resulta muy distinta la evolución de cada una de ellas en los últimos 30 años (figura 2). Así, en relación a las fuentes de energía renovables se puede considerar que se encuentra estancada la energía oceánica, mientras que la energía hidráulica, geotérmica y de biocombustibles crecen a ritmos moderados. Por otra parte, la energía solar y eólica crecen de forma muy acusada. En el ámbito de las convencionales, la energía nuclear se encuentra muy estabilizada desde la década de los noventa, la energía del petróleo mantiene crecimientos moderados, el carbón y el gas natural crecen de forma más acusada, y la obtención de energía de los residuos empieza a despegar, aunque atemperada en los últimos años.

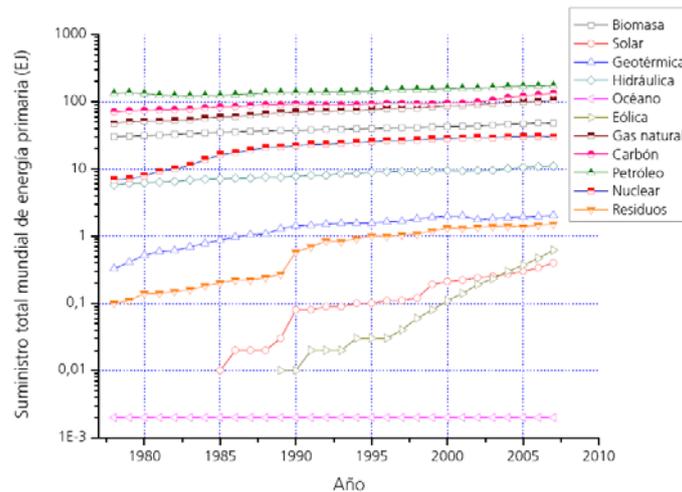


Figura 2.- Evolución 1978-2007 de los suministros de energía primaria total a partir de los distintos tipos de fuentes convencionales y renovables (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

Este comportamiento se puede analizar más en detalle a partir de los últimos datos disponibles (2007) mostrados en la tabla 1, donde se muestra también el porcentaje que representa cada fuente con respecto al total, el incremento de cada fuente con respecto al año 2006 y el potencial técnico^[2] que ofrece cada una de las fuentes de energía renovable a escala global. De esta forma, se comprueban los importantes ritmos de crecimiento de la energía solar y eólica en el último año disponible, aunque aún ninguna de estas tecnologías alcanza el 1% del suministro energético a nivel mundial. En el caso de las fuentes convencionales se confirman los importantes crecimientos en carbón y gas natural, así como en la valorización energética de residuos, aunque en este caso su aportación es muy pequeña. Vale la pena también contrastar el potencial técnico de las distintas fuentes de energía renovable, en todos los casos superior a los valores de suministro de energía primaria total a partir de fuentes convencionales, demostrando unos valores de aprovechamiento actualmente ínfimos en la mayoría de los casos.

Tabla 1.- Valores de suministro de energía primaria total a partir de las distintas fuentes de energía convencional y renovable en el año 2007, porcentaje de cada una de ellas respecto del total, porcentaje de crecimiento con respecto al año 2006 y potencial técnico de las fuentes de energía renovable (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

Recurso	Uso actual (2007) (EJ/año)	% total (2007)	% incremento (2007/2006)	Potencial técnico (EJ/año)
Biomasa	47,79	9,46	-0,86	9.260
Solar	0,40	0,08	18,79	833400 (continental)
Geotérmica	2,05	0,41	4,50	4.630
Hidráulica	11,09	2,19	1,38	463
Océanos	0,002	0,0004	0,00	926
Eólica	0,61	0,12	33,25	92600
TOTAL RENOVABLE	61,97	12,26	0,07	941279
Gas atural	105,58	20,89	4,65	
Carbón	133,51	26,42	4,35	
Petróleo	173,13	34,26	0,61	
Uranio	29,71	5,48	-0,65	
Residuos	1,50	0,30	4,15	
TOTAL CONVENCIONAL	443,43	87,74	2,44	

Lo señalado con anterioridad en relación con el potencial técnico de las fuentes de energía renovable en nuestro planeta se muestra en la figura 3, en la cual se puede apreciar que la fuente de energía renovable con mayor potencial es la energía solar (considerando sólo la superficie terrestre por encima del nivel del mar), seguido de la energía eólica. También se puede comprobar que los valores de suministro global de energía primaria ya han superado al potencial global de energía hidráulica.

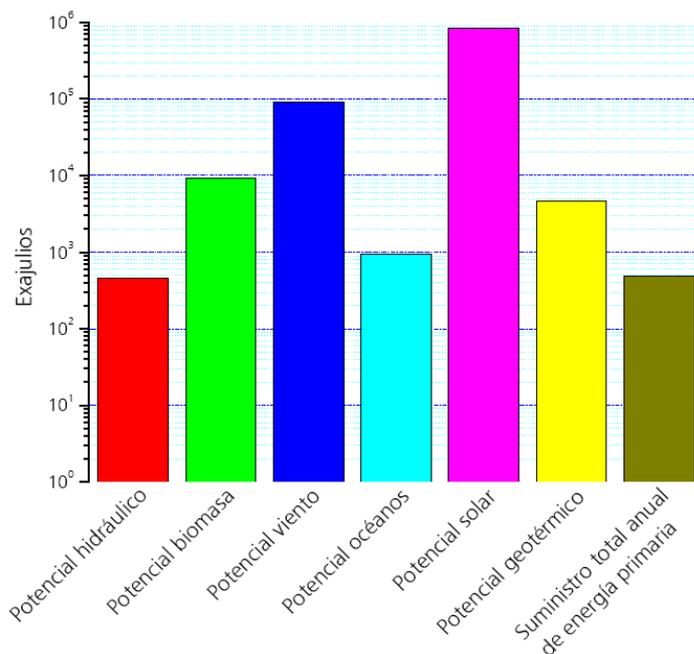


Figura 3.- Potencial técnico mundial de suministro de energía primaria a través de fuentes renovables^[2] (elaboración propia).

En relación a las reservas probadas de las distintas fuentes de energía fósil y uranio, las últimas estadísticas publicadas indican que existen unas reservas a 1 de enero de 2009 de $1,34 \cdot 10^{12}$ barriles de petróleo^[3], $6,25 \cdot 10^{15}$ pies cúbicos de gas natural^[3], $8,47 \cdot 10^{11}$ toneladas de carbón^[4] (2007) y $5,47 \cdot 10^6$ toneladas de uranio (2007)^[5].

Utilizando los factores de conversión correspondientes para pasarlos a exajulios en el caso de gas natural, carbón y petróleo^[6,7], así como tomando el consumo de toneladas de uranio en 2007 en relación con la energía nuclear producida en dicho año, podemos hacer una estimación del número de años que pueden cubrir las reservas probadas publicadas, tanto a ritmo de consumo de 2007 como considerando, además, la media de incremento anual en el suministro de carbón (+ 4,80%), petróleo (+ 1,44%), gas natural (+ 2,72%) y uranio (+ 0,69%) en el período 2000 – 2007 (figura 4). Así, de acuerdo con los resultados obtenidos, aunque las reservas probadas de carbón se estiman que son las que más años pueden cubrir el suministro al ritmo actual (149 años), dado que es la fuente de energía convencional que crece a un ritmo mayor, si consideramos el crecimiento sostenido de los últimos ocho años las reservas sólo podrían cubrir 45 años. De forma equivalente, para el petróleo obtendríamos 48 y 37 años, respectivamente. Para el gas natural 65 y 38 años, y para el uranio 84 y 67 años, respectivamente.

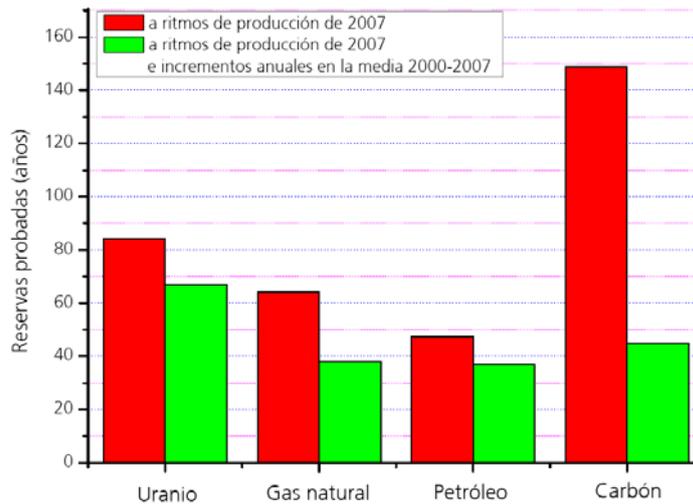


Figura 4.- Reservas probadas de fuentes de energía convencional en términos de años al ritmo de suministro de 2007 estabilizado y a ritmo de suministro de 2007 incrementado anualmente según el valor medio anual del incremento producido entre los años 2000-2007 (elaboración propia).

Estas expectativas de agotamiento de las fuentes de energía convencional no son nuevas, habiéndose ya planteado desde hace muchos años escenarios de escasez de combustibles fósiles, especialmente del petróleo. Dichos escenarios van siendo analizados cada vez de forma más rigurosa, estimando de forma paralela tanto el momento en que se producirá el pico de producción con las distintas fuentes de energía convencional, como de qué manera las distintas fuentes de energía renovable irán sustituyendo a las convencionales (figura 5)^[8]. En este sentido, el debate sobre la evolución futura de la producción de energía a través de fuentes convencionales adquiere especial relevancia cuando la propia Agencia Internacional de la Energía señala en su informe anual de 2009^[9] que la producción de petróleo obtenido de forma convencional alcanzará su pico en 2020 si la demanda sigue creciendo al ritmo actual y, de este modo, plantea escenarios en los que la producción dejará de crecer antes de llegar a 2030. Para llegar a esta conclusión, la IEA estudió las tendencias de producción históricas de 800 campos petrolíferos individuales en 2008^[10].

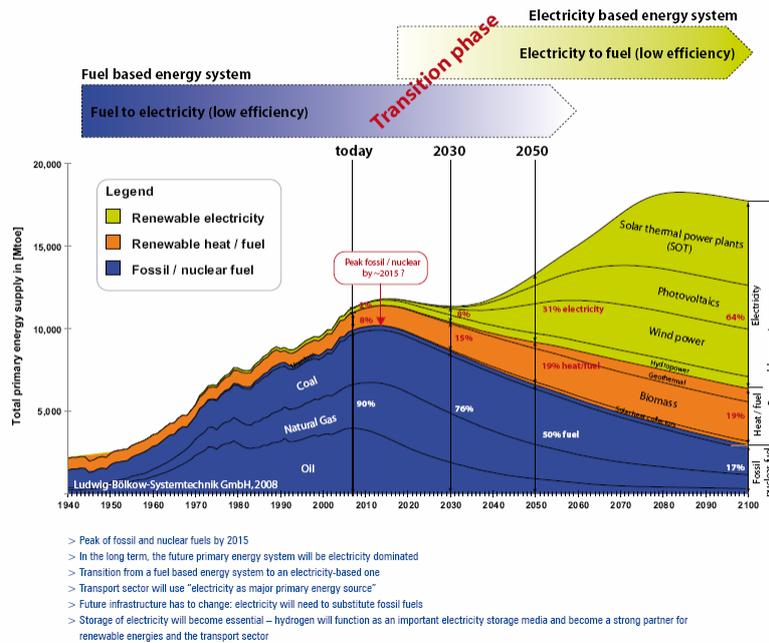


Figura 5.- Descripción de la posible evolución en la producción de energía a partir de fuentes convencionales y renovables^[8].

2.- Evolución de las tasas de emisión de CO₂ e influencia en el cambio climático

El incremento del consumo energético a escala global asociado a nuestro desarrollo económico en los últimos decenios se ve claramente asociado al incremento de las tasas de emisión de CO₂ (figura 6)^[1]. En este caso se ve más claramente la influencia de las crisis económicas en pequeños descensos en las tasas de emisión en 1974, 1980-82, 1990 y, previsiblemente, 2008-09.

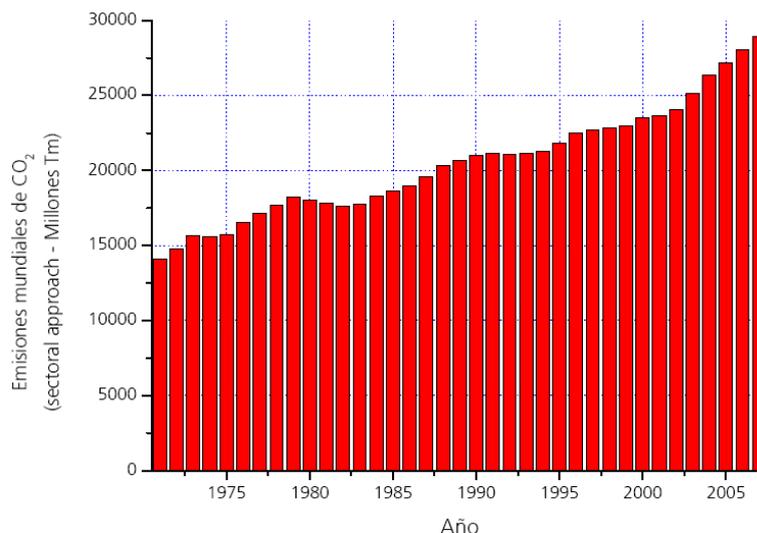


Figura 6.- Evolución de las tasas de emisión de CO₂ en el planeta en el período 1978-2007 (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

Estos incrementos de emisiones de CO₂ están haciendo que el valor medio de los niveles en la atmósfera terrestre estén aumentando de forma muy importante

desde los 280 ppm de la era preindustrial a los 390 ppm en los que nos encontramos en la actualidad (figura 7)^[11], considerados a partir de mediciones realizadas en el Observatorio de Manua Loa (Hawaii) y que publica mensualmente la National Oceanic & Atmospheric Administration del US Department of Commerce.

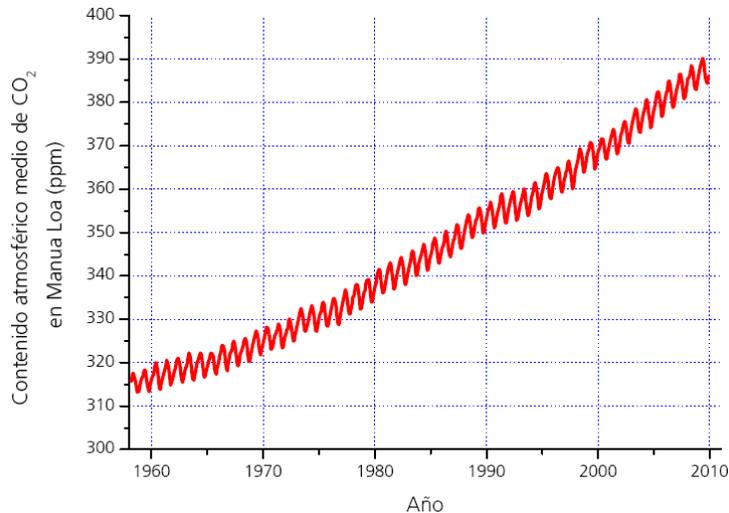


Figura 7.- Valores medios mensuales de composición de CO₂ atmosférico medidos en el Laboratorio de Manua Loa (Hawaii)^[11] (elaboración propia).

Este incremento de los niveles de CO₂ en nuestra atmósfera está reduciendo la emisión de calor al espacio y, consecuentemente, produciendo un incremento de la temperatura media del planeta (figura 8)^[12-13], estimándose un ritmo de crecimiento de la temperatura de 0,15° C por década, y previéndose que para este año (2010) se alcance la mayor temperatura media anual registrada en la historia^[13-14].

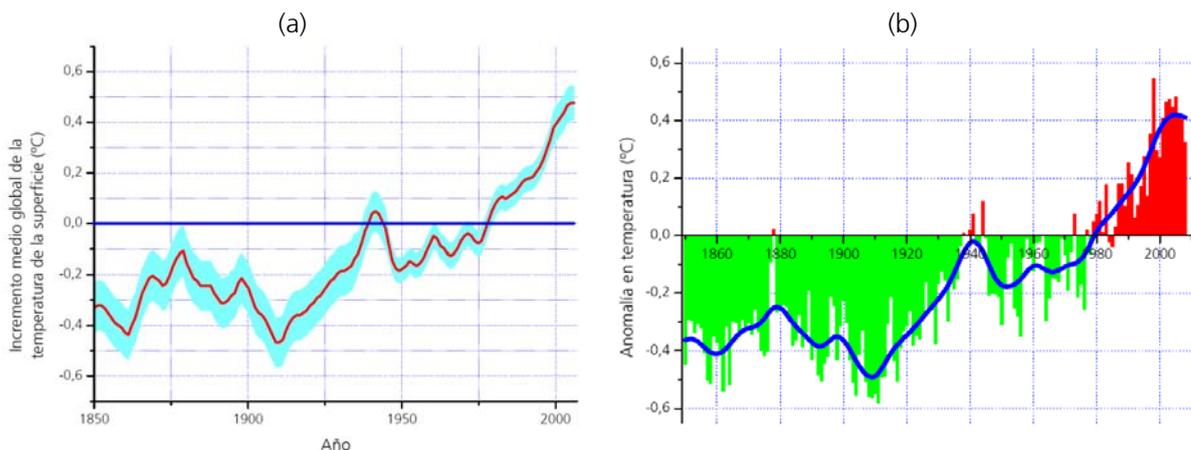


Figura 8.- (a) Incremento medio de la temperatura del planeta en el período 1850-2007 según el Panel Internacional de Cambio Climático^[12]; y (b) medición de las anomalías de temperatura en el período 1850-2008 según el Met Office Hadley Centre^[13].

Este incremento del contenido del CO₂ en nuestra atmósfera no sólo afecta a los valores de temperatura media del planeta, sino que también produce un incremento del nivel medio de los océanos (figura 9a) y una disminución del área terrestre cubierta por hielo (figura 9b)^[12], considerándose que producirá mayores

aumentos de temperatura en función de los niveles de CO₂ en los que se consiga estabilizar la composición atmosférica en un futuro (figura 8d)^[12].

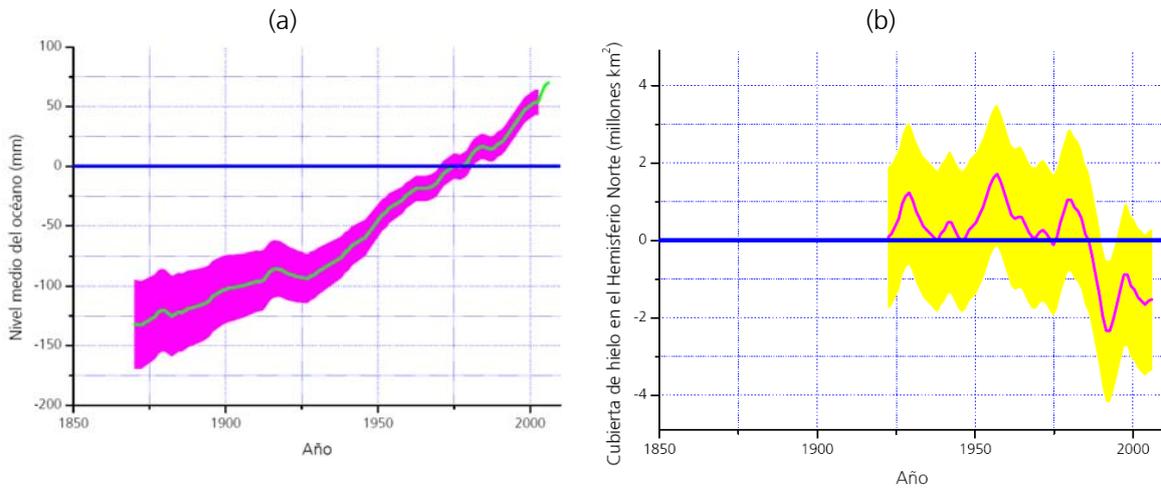


Figura 9.- (a) incremento del nivel medio de los océanos en el período 1870-2007; y (b) evolución de la extensión del casquete polar del Ártico en el período 1920-2007.

Dado que los niveles medios de CO₂ en la atmósfera no se encuentran estabilizados, sino que se encuentran en una clara tendencia alcista, como se ha señalado con anterioridad (figura 7), se considera que se producirán mayores aumentos de temperatura, lo cuales dependerán de los niveles de CO₂ en los que se consiga estabilizar la composición atmosférica en un futuro (figura 10)^[12].

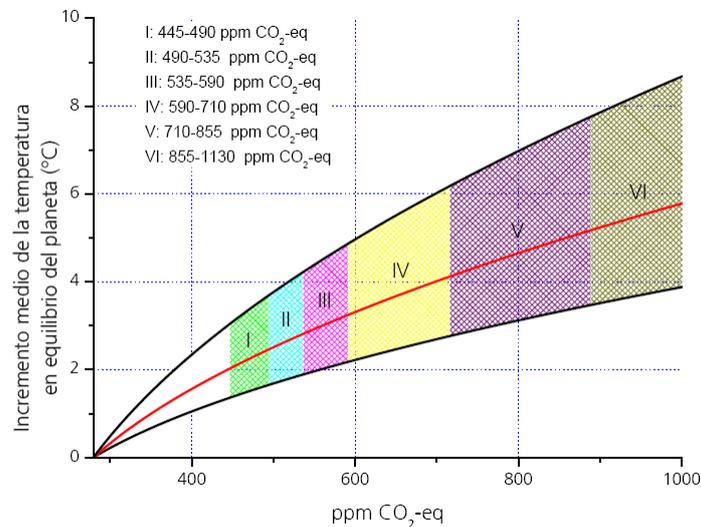


Figura 10.- Previsión de incremento de la temperatura media del planeta en función de la concentración de CO₂ en la atmósfera¹².

Algunos avances tecnológicos en el sector energético pueden ayudar a disminuir el ritmo de emisión de CO₂ a la atmósfera, como es la sustitución de centrales de producción de electricidad a partir de carbón y petróleo por centrales de ciclo combinado alimentadas por gas natural (figura 11). Sin embargo, es evidente que la apuesta más clara para conseguir reducir las tasas de emisión de CO₂ y, con esto, estabilizar o, incluso, reducir el nivel medio de CO₂ en la atmósfera, es a través de tecnología ya desarrollada o en desarrollo que propicie el ahorro y la

eficiencia energética, así como la sustitución de los sistemas de producción de energía a partir de fuentes convencionales por los que están basados en energías renovables, además de tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂.

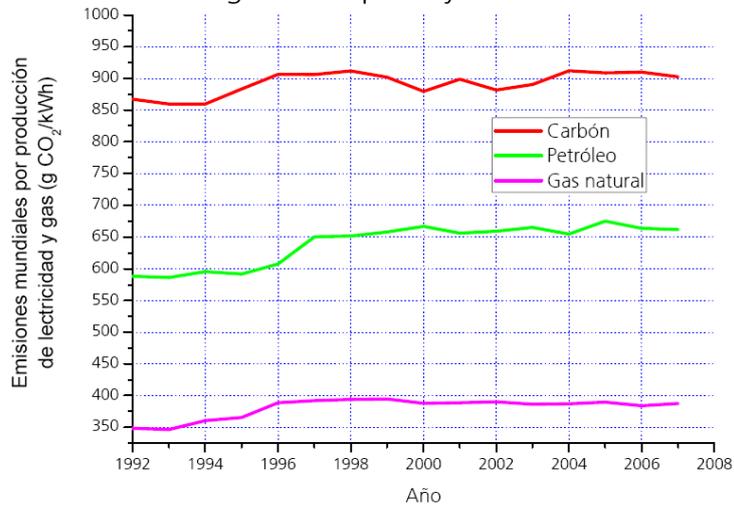


Figura 11.- Evolución de las emisiones de CO₂ por kWh de energía eléctrica producida por consumo de gas natural, petróleo o carbón como fuente de energía primaria^[1] (elaboración propia a partir de estadísticas IEA).

Al respecto, algunas medidas derivadas de la aplicación del Protocolo de Kyoto se han tomado para tratar de incentivar a las grandes industrias a reducir sus tasas de emisión de CO₂, como ha sido la creación de un mercado de derechos de emisión que incentive a consumir energía de forma más eficiente y a mejorar la tecnología aplicada en los procesos industriales. Sin embargo, en este mercado los derechos de emisión se han situado en precios muy por debajo de lo esperado inicialmente (figura 12)^[14], generando muy pocos incentivos para la reducción de CO₂ e, incluso, para la introducción de tecnología de captura y almacenamiento de CO₂ al situarse los costes mínimos de esta tecnología muy por encima de los precios de los derechos actualmente vigentes en el mercado. Sin embargo, se estima que este mercado ha movido unos 122 mil millones de dólares en 2009 y que su actividad ha propiciado que se hayan reducido las emisiones de CO₂ entre un 2% y un 5% al año en relación al escenario que se daría si este mercado no hubiera existido^[15].



Figura 12.- Evolución del mercado diario de derechos de emisión de CO₂ en el European Climate Exchange^[14] (elaboración propia).

Además de lo anterior, cada vez se plantean más estudios que inciden en la forma de reducir las emisiones de CO₂ a partir de la incorporación de nuevas tecnologías que resulten en la mejora de la intensidad de carbono y políticas clave aplicadas recientemente. Algunos de estos estudios^[16] realizan interesantes barridos entre las distintas tecnologías estimando si el impacto económico de cada una de ellas es positivo o negativo en términos de costes y su implementación cuánto puede contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂ en distintos escenarios geográficos y temporales (figura 13).

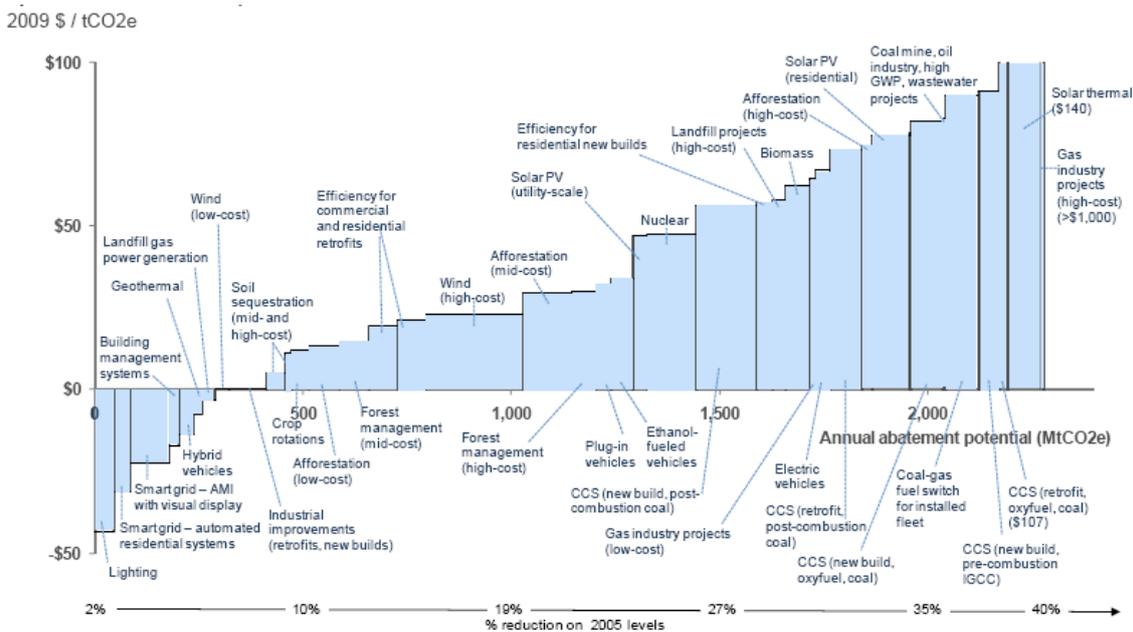


Figura 13.- Potencial anual de abatimiento de las emisiones de CO₂ en Estados Unidos para el año 2030 en términos de USD₂₀₀₉/Tm CO₂ abatido, en relación con los niveles de 2005, aplicando distintas estrategias y tecnologías^[16].

3.- Costes de producción de combustibles y electricidad a partir de fuentes de energía renovable

Como ya se ha señalado anteriormente (tabla 1), el suministro de energía primaria en el planeta se basa, muy mayoritariamente, en fuentes de energía fósil. Los precios de mercado de estas fuentes de energía fósiles son volátiles, especialmente en el caso del petróleo^[17] y el gas natural^[18] (figura 14), lo que influye de forma determinante en el precio de la electricidad y de los combustibles derivados del petróleo.

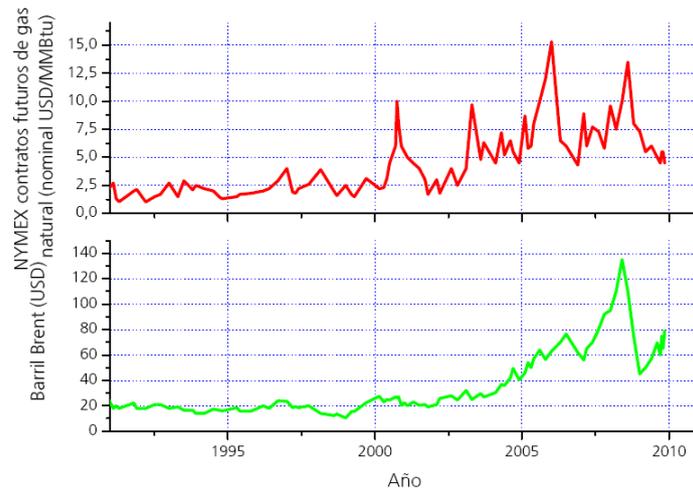


Figura 14.- Evolución del precio del barril de petróleo Brent^[17] y del gas natural en el mercado de futuros^[18] (elaboración propia).

Al contrario de lo anterior, la evolución del coste de producción de energía a partir de fuentes renovables viene más determinada por la evolución de la tecnología asociada, aunque también está afectada por el coste de las materias primas con las que se fabrican los distintos dispositivos renovables, incluido el precio de los combustibles fósiles, utilizados como parte principal de los mix energéticos por las empresas fabricantes de tecnología renovable en sus procesos de fabricación.

A la hora de hacer un análisis de los costes de producción de energía a partir de fuentes renovables, es conveniente realizar una primera división entre producción de electricidad y de combustibles. Por otro lado, aunque en los capítulos dedicados a estudiar cada tecnología analizaremos más en detalle la evolución en los costes de producción de energía a partir de cada una de las fuentes renovables, es muy adecuado plantear de forma resumida cuál es la situación actualmente.

Así, en costes nivelados de producción de electricidad, los cuales cubren inversión y depreciación, operación y mantenimiento durante toda la vida del generador de electricidad, los últimos estudios que hemos encontrado publicados, correspondientes al tercer trimestre de 2009^[19]. Estos estudios comparan la producción de electricidad a partir del carbón y gas natural con la de renovables en ese período, situando a la energía geotérmica como la tecnología más competitiva, aunque restringida debido a las exigencias de emplazamiento adecuado. Por el otro lado, la tecnología oceánica es la que aún se encuentra más elevada en términos de costes (figura 15).

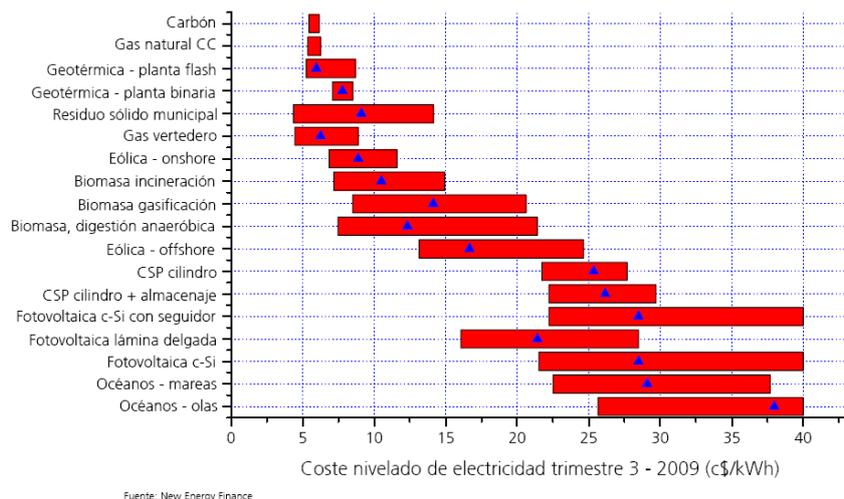


Figura 15.- Coste nivelado de la electricidad correspondiente al tercer trimestre de 2009 para distintos tipos de fuentes de energía convencional y renovable. El símbolo ▲ representa el coste estimado en el escenario medio para cada tecnología.

Para la comparación de precios entre tecnologías convencionales y renovables en el sector de los combustibles, se ha considerado plasmar en las correspondientes gráficas la evolución de los precios del etanol^[20] frente a la gasolina^[21] (figura 16.a) y del biodiésel^[22] frente al gasoil^[23] (figura 16.b), equilibrando las comparaciones en términos de poder calorífico^[24] (etanol = 67% lge; biodiésel = 90% diesel equivalent). De esta forma, se observa que hacia la mitad de 2008, cuando el precio del crudo alcanzaba su máximo histórico (figura 14) el precio de los futuros de etanol y gasolina se equilibraban, manteniéndose claramente separados desde entonces. Para el caso del biodiésel no tenemos datos históricos que nos puedan dar información del comportamiento desde el 2008, pero de los datos de los que si disponemos podemos deducir que la diferencia de precios con el gasoil se mantiene proporcionalmente muy por encima (90% aprox.) que la que se produce entre el etanol y la gasolina (30% aprox.).

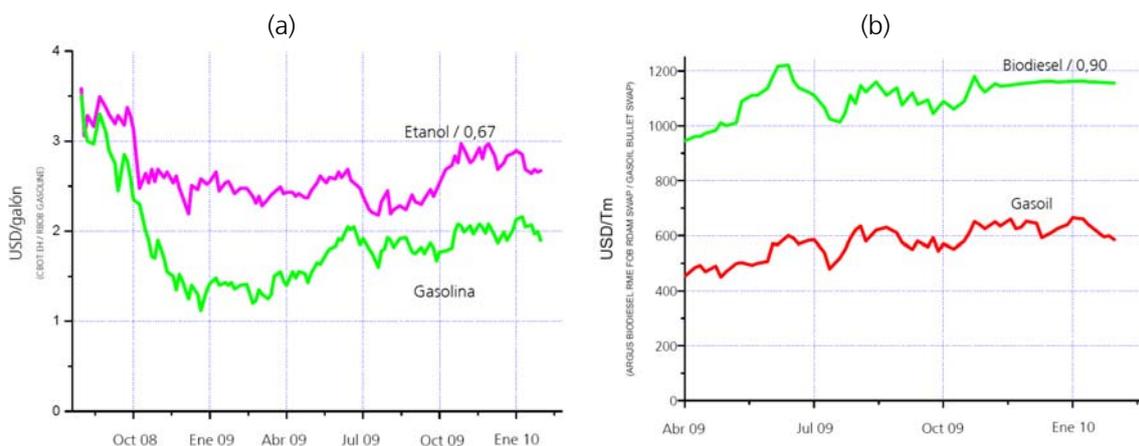


Figura 16.- Evolución de los precios de distintos combustibles en el mercado de futuros, corrigiendo la diferencia de poder calorífico entre ellos: (a) etanol frente a gasolina; y (b) biodiésel frente a gasoil (elaboración propia).

Por último, cuando se tratan los costes de producción de energías renovables, conviene analizar los costes de almacenamiento, específicamente de electricidad, dado que, principalmente, el sol, el viento y algunos de los aprovechamientos de la energía de los océanos, muestran comportamientos imprevisibles frente a la casi

total previsión existente desde el punto de vista de la demanda de energía eléctrica.

De esta forma, y pensando en una mayor penetrabilidad de las fuentes de energía renovable en los mix eléctricos, conviene analizar los costes de almacenamiento en relación con escenarios en los que se prima la disposición de potencia para cubrir fluctuaciones de la misma en períodos cortos de tiempo, así como sistemas más enfocados al almacenamiento de energía, con el objetivo de almacenar excedentes producidos por fuentes renovables y devolverlos a la red cuando la demanda de energía eléctrica supere a la oferta.

Todos los sistemas de almacenamiento de electricidad introducen costes de capital muy relevantes en el suministro de energía eléctrica (figura 17)^[25], estimándose que cuando la prioridad es el almacenamiento de energía, la mejor opción son las baterías metal-aire. Si la prioridad es el almacenamiento en un sistema que pueda generar gran potencia de forma rápida, la mejor opción son los condensadores electroquímicos.

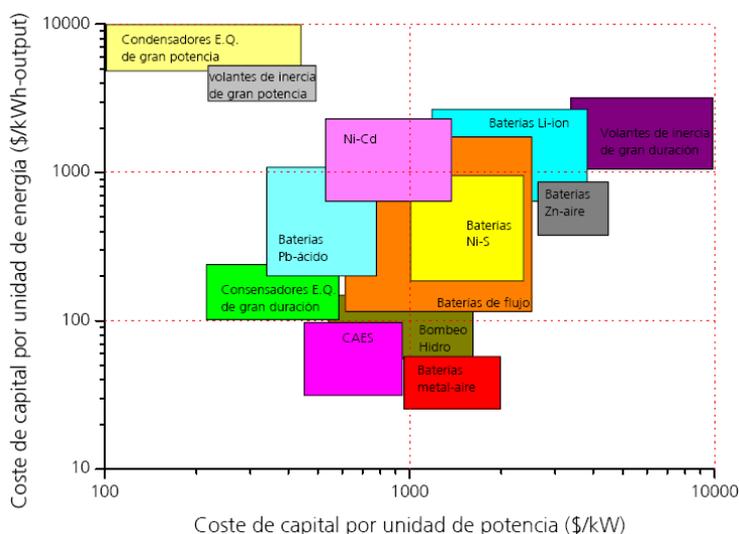


Figura 17.- Esquema de costes de capital por unidad de energía y costes de capital por unidad de potencia para distintos tipos de sistemas de almacenamiento^[25] (CAES: compressed air energy storage; E.C. capacitores: electrochemical capacitors).

4.- Estado de desarrollo tecnológico de las tecnologías renovables y de captura de CO₂

Con el objetivo de poner disponer de una imagen rápida de la situación de las distintas tecnologías a tratar en este SET, se muestra un esquema (figura 18) en el que se clasifican las mismas en función del estado de desarrollo en el que estimamos que se encuentran. La clasificación distingue entre las siguientes fases^[26]:

- **Pionera:** la tecnología emerge como independiente. Esta fase se caracteriza por un pequeño número de empresas desarrollando la tecnología, principalmente, a través de innovaciones radicales. La primera barrera es crear un producto viable y fiable. El mayor riesgo es tecnológico.

Introducción: se produce la introducción del producto en los mercados (principalmente en nichos de mercado). La tecnología resulta ya conocida y existen muchas empresas. Los procesos de innovación se van incrementando y el mayor riesgo es financiero.

Mercado: la tecnología ya es fiable, estandarizada y ya está establecida en el mercado. La competición entre empresas ha hecho que disminuya el número de las mismas. El mayor riesgo del inversor es el propio riesgo del mercado, es decir, conseguir una cuota suficiente de mercado.

Competición: el producto es maduro y tiene la oportunidad de competir en igualdad de condiciones con las tecnologías de producción de energía convencional. Existen pocas empresas.

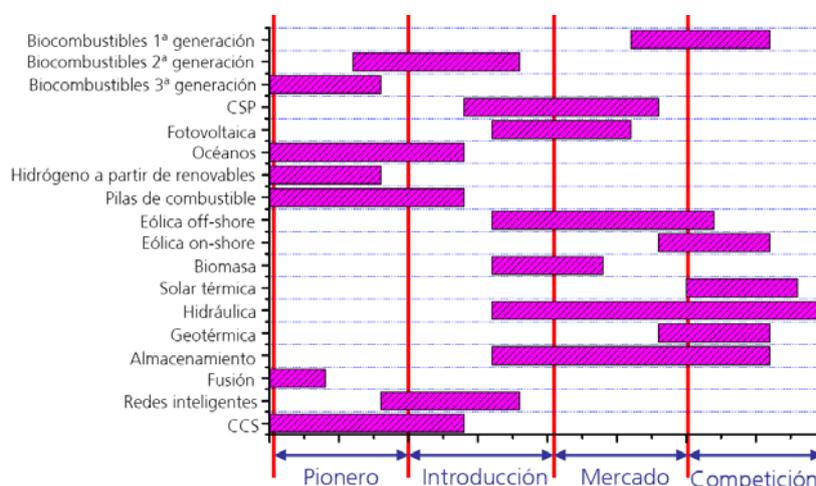


Figura 18.- Estado del desarrollo de cada una de las tecnologías a tratar en este SET (elaboración propia).

El estado de desarrollo plasmado en la figura 18 es revisado de forma periódica, a partir de las noticias destacadas que se van produciendo a escala global, especialmente relacionadas con tecnología que denominamos que se encuentra en proceso de preproducción. En los capítulos dedicados a las distintas tecnologías se exponen esquemas similares a éste, pero desagregados en función de cada una de las subtecnologías en que se considera que se desarrolla, justificándose adecuadamente la clasificación que estimamos que le corresponde.

5.- Emisiones de CO₂, retorno energético y costes externos de las distintas tecnologías renovables

En este apartado se exponen los valores de emisiones de CO₂, retorno energético y costes externos de cada una de las tecnologías renovables que se tratan. La importancia de este tipo de información va en aumento, aunque aún no consideramos que se encuentren bien establecidas las metodologías para su obtención, dado que el comportamiento de cada una de las tecnologías renovables depende, la mayor parte de las veces, de condicionantes externos a la propia tecnología, como pueden ser los emplazamientos, mix energéticos,

evolución de los precios de las materias primas, etc. No obstante, los valores expuestos más abajo pueden cumplir con un importante papel orientativo que nos ayude a describir con más detalle cada tecnología.

Además de lo anterior, hay que señalar que las distintas fuentes bibliográficas utilizadas no suelen tratar el global de tecnologías renovables, por lo que el lector puede que eche en falta algunos datos, los cuales esperamos ir completando en el futuro.

En relación con las emisiones de gases de efecto invernadero, conviene señalar que la producción de energía eléctrica con todas las tecnologías renovables causa la emisión de CO₂ si consideramos todo el ciclo de vida del sistema de producción (figura 19)^[27]. Esto ocurre porque la fabricación de los sistemas renovables se realiza con mix energéticos apoyada, principalmente, por fuentes de energía fósil. Así, por ejemplo, si comparamos sistemas fabricados en Estados Unidos y en Europa, las emisiones de gases de efecto invernadero serán significativamente menores en este segundo caso debido a lo anterior. A esto se suma también que muchos de los materiales utilizados para la puesta en funcionamiento de los sistemas productores de electricidad a partir de fuentes renovables (cemento, acero, aluminio, etc.) también son producidos con mix energéticos donde los combustibles fósiles juegan el papel principal.

De este modo, es previsible que a partir del aumento de la proporción de la aportación de las fuentes de energía renovable al consumo de energía global, vayan disminuyendo las emisiones de CO₂ producidas en los ciclos de vida de las tecnologías renovables en relación a las tecnologías basadas en fuentes convencionales.

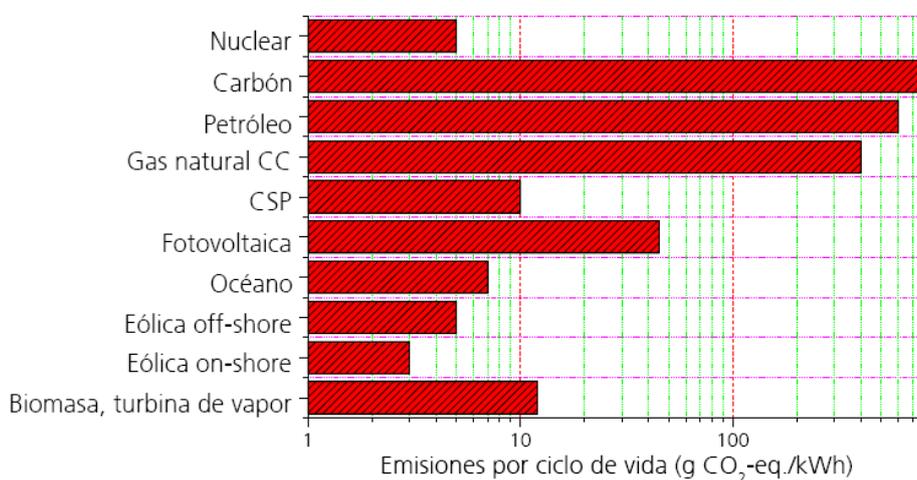


Figura 19.- Emisiones de CO₂ por kWh de energía eléctrica producida considerando todo el ciclo de vida del sistema de producción eléctrico considerado^[27].

La razón de retorno energético nos da la relación entre la energía eléctrica neta producida durante el tiempo de vida de la instalación y la energía requerida para construir, mantener y alimentar la instalación durante todo ese tiempo, convertida en energía eléctrica. De este modo, cuanto mayor sea la razón de retorno energético, más atractiva resulta la tecnología.

En este tipo de análisis los trabajos que se encuentran son escasos y segmentados en función de la tecnología analizada. Así, hemos conseguido encontrar trabajos que analizan la energía fotovoltaica^[28]; viento, nuclear, carbón y gas natural^[29]; hidráulica^[30]; y biomasa^[31] (figura 20). Al igual que señalamos en el resto de este apartado, los valores obtenidos son orientativos, dado que existen muchas características de las instalaciones que son independientes de la tecnología utilizada y que afectan a la razón de retorno energético.

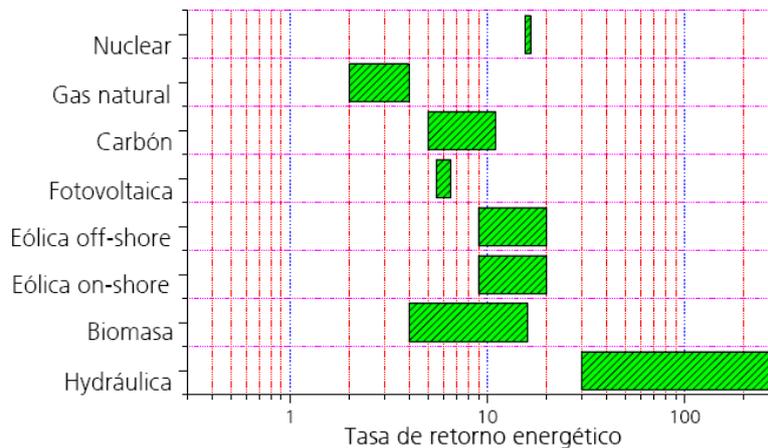


Figura 20.- Razón de retorno energético para distintas tecnologías de producción de energía eléctrica^[28-31].

Cuando las actividades económicas o sociales de un participante en actividades económicas tienen impactos positivos o negativos sobre otro participante, y estos impactos no se cuentan o son compensados por el primero de los participantes, los costes que genera se denominan "externos". En este sentido, existe un esfuerzo cada vez mayor para poder contabilizar dichos costes e internalizarlos, lo cual se puede ver reflejado, a modo de ejemplo, en el establecimiento de los derechos de emisión de CO₂ a nivel internacional.

En el ámbito energético existen pocos estudios que cuantifiquen este tipo de costes, aunque el interés político por establecer los mismos va en aumento. En este sentido se puede señalar como precursor de los mismos el proyecto ExternePol (Extension of Accounting Framework and Policy Applications)^[32], ya superado por el proyecto NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability)^[33], ambos financiados por la Unión Europea. A partir de este proyecto se muestran los valores de costes externos para distintas tecnologías de producción de energía, tanto a partir de fuentes convencionales como de renovables (figura 21).

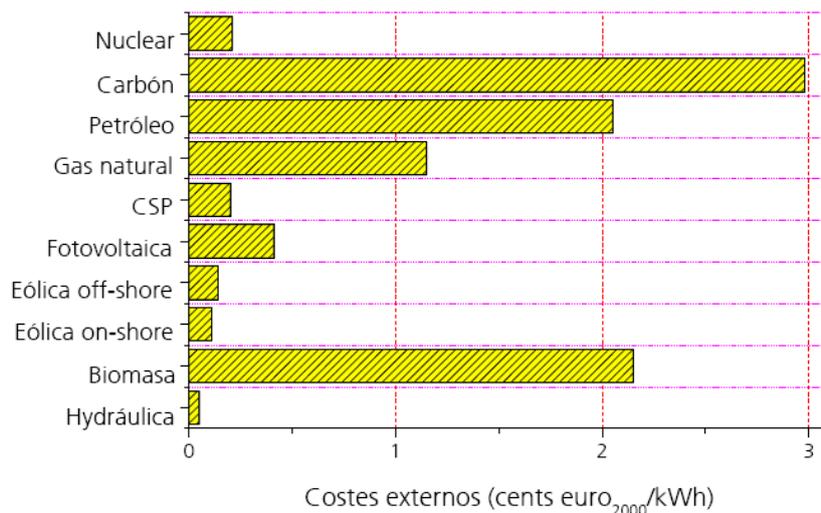


Figura 21.- Costes externos de producción del kWh de electricidad a partir de distintas fuentes de energía convencional y renovable^[33].

6.- Referencias

- 1.- Statistics & Balances. IEA (2009).
- 2.- Nitsch, F. (2007). Technologische und energiewirtschaftliche Perspektiven erneuerbarer Energien. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- 3.- *Oil & Gas Journal*.
- 4.- World Coal Institute.
- 5.- World Nuclear Association.
- 6.- Energy Information Administration. US Department of Energy.
- 7.- Key World Energy Statistics 2009. International Energy Agency.
- 8.- European Hydrogen Association (2008).
- 9.- World Energy Outlook 2009. International Energy Agency.
- 10.- "2002 vision. The IEA puts a date on peak oil production". The Economist. 10th December 2009.
- 11.- Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. National Oceanic & Atmospheric Administration. US Department of Commerce.
- 12.- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). (2008).
- 13.- Met Office Hadley Centre. UK Government.
- 14.- European Climate Exchange.
- 15.- "Good policy and bad". Especial report on climate change and the carbon economy. The Economist. Dec. 3rd 2009.
- 16.- Carbon Markets – North America – Research Note. Bloomberg New Energy Finance. 14 January 2010.
- 17.- WTRG Economics.
- 18.- CME Group.
- 19.- New Energy Finance. 2009.
- 20.- Ino.com. Ethanol.
- 21.- Ino.com. Gasoline.
- 22.- Ino.com. Biodiesel.
- 23.- Ino.com. Gasoil.
- 24.- IEA Energy Technology Perspectives 2008.
- 25.- Electricity Storage Association.

- 26.- Skytte et al. (2004).
- 27.- NEEDS, 2009. Wolfram Krewitt..
- 28.- Prog. Photovolt.: Res. Appl. 14, 275-280 (2006).
- 29.- "Comparison of energy systems using lifecycle assessment". World Energy Council (2005).
- 30.- L. Gagnon et al. Energy Policy 30 (2002) 1267-1278.
- 31.- NREL's (2001) poplar gasified for electricity production (Rafaschieri et al.).
- 32.- Extension of Accounting Framework and Policy Applications (ExternE-Pol).
- 33.- New Energy Externalities Development for Sustainability (NEEDS), 2009. P. Preiss and M. Blesl.