



AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA

# PERSPECTIVAS SOBRE TECNOLOGÍA ENERGÉTICA

2  
0  
0  
6

En apoyo al Plan de Acción del G8

RESUMEN E  
IMPLICACIONES  
POLÍTICAS

Escenarios y  
estrategias  
hasta el año  
2050



# PERSPECTIVAS SOBRE TECNOLOGÍA ENERGÉTICA

2  
0  
0  
6

## Escenarios y estrategias hasta el año 2050

¿En qué medida puede contribuir la tecnología a garantizar un suministro energético asequible y suficiente y a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>? ¿Qué tecnologías energéticas son las más prometedoras? ¿Cuánto tiempo se tardará en conseguirlo?

En la cumbre celebrada en Gleneagles en 2005, los líderes del G-8 se enfrentaron a estas preguntas y decidieron actuar con resolución y carácter urgente. Solicitaron a la Agencia Internacional de Energía asesoría sobre escenarios y estrategias conducentes a un futuro con energías limpias y seguras. *Perspectivas sobre Tecnología Energética* constituye una respuesta a esa solicitud.

Este innovador trabajo demuestra los efectos globales que pueden tener las tecnologías energéticas bajo distintos escenarios hasta el año 2050. Analiza de forma detallada el estado de las tecnologías energéticas clave y su impacto en la generación de electricidad, los edificios, la industria y el transporte. Valora las formas en las que el mundo puede mejorar la seguridad energética y frenar el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando un abanico de tecnologías actuales y emergentes. Los principales elementos de una estrategia exitosa son la eficiencia energética, la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, las fuentes de energías renovables y la energía nuclear.

Aunque la tecnología plantea enormes posibilidades de cara al futuro, si queremos aprovechar el potencial de las tecnologías actuales y emergentes y reducir el impacto de la dependencia en los combustibles fósiles sobre la seguridad energética y el medio ambiente, debemos actuar ya. *Perspectivas sobre la Tecnología Energética* ofrece puntos de vista pormenorizados en esta materia y sobre posibles políticas públicas, para ayudar a los gobiernos a diseñar soluciones sostenibles.

© OECD/IEA, 2006

No reproduction, copy, transmission or translation of this publication may be made without written permission.

Applications should be sent to:

International Energy Agency (IEA),  
Head of Publications Service,  
9 rue de la Fédération,  
75739 Paris Cedex 15, France.

# ■ RESUMEN E IMPLICACIONES POLÍTICAS

Esta publicación se realiza en respuesta a la petición del Grupo de los Ocho (G8), el cual celebró una cumbre en Gleneagles en julio de 2005, y de los ministros de energía de países miembros de la Agencia Internacional de Energía que se habían reunido dos meses antes. Ambos grupos solicitaron a la AIE que desarrollase y aconsejase sobre estrategias y escenarios alternativos destinados a lograr un futuro con energías limpias, inteligentes y competitivas.

Un suministro de energía segura, fiable y asequible es fundamental para la estabilidad y el desarrollo económicos. La amenaza de un cambio climático catastrófico, la disminución de la seguridad energética y las necesidades cada vez mayores de energía por parte de los países en desarrollo constituyen retos importantes para los tomadores de decisiones en esta materia. Sólo se podrá hacer frente a ellos mediante la innovación, la adopción de nuevas tecnologías rentables y un mejor uso de tecnologías existentes. *Perspectivas sobre Tecnología Energética* presenta el estado actual de las tecnologías energéticas clave y su evolución posible, además de valorar las posibilidades que tienen de marcar una diferencia para el año 2050. Asimismo, señala los obstáculos existentes para la adopción de dichas tecnologías y las medidas que pueden contribuir a superarlos.

## Pronósticos para 2050 y el papel de la tecnología energética

.....

### **El mundo no se encamina hacia un futuro de energía sostenible.**

Los máximos históricos alcanzados por los precios del petróleo plantean preocupaciones sobre el equilibrio de la oferta y la demanda a largo plazo. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se han incrementado en más de 20% durante la última década. De hecho, si el futuro se desarrolla en consonancia con las tendencias actuales, tal y como se reseña en el Escenario de Referencia del *World Energy Outlook 2005*, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la demanda de petróleo seguirán creciendo con rapidez durante los próximos 25 años, inclusive tomando en cuenta las mejoras en la eficiencia energética y el progreso tecnológico probable dadas las políticas actuales. Si ampliamos este pronóstico más allá del año 2030, estas preocupantes tendencias podrían agravarse. Bajo el Escenario Base elaborado para este estudio, las emisiones de CO<sub>2</sub> se elevarán por encima del doble del nivel actual en el año 2050. La creciente demanda del sector del transporte seguirá ejerciendo presión sobre la oferta de petróleo. Aumentará la intensidad con la que la economía mundial produce emisiones de dióxido de carbono, debido al mayor uso de carbón para la generación de electricidad (especialmente en países en desarrollo con rápido crecimiento económico y que disponen de amplias reservas de carbón) y para la producción de combustibles líquidos para el transporte.



**No obstante, este alarmante pronóstico puede ser alterado.** Los Escenarios de Tecnologías Aceleradas (ACTs) - que constituyen el eje central de este documento - demuestran que, empleando tecnologías existentes o emergentes, el mundo se podría encaminar hacia un futuro energético mucho más sostenible. Los escenarios demuestran cómo se puede lograr que las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía disminuyan a los niveles registrados actualmente en el horizonte de 2050 y cómo se puede moderar el crecimiento de la demanda de petróleo. Asimismo, indican que para 2050, las medidas de eficiencia energética pueden disminuir la demanda de electricidad hasta un tercio por debajo de los niveles del Escenario Base. El ahorro de combustibles líquidos equivaldría a más de la mitad del consumo de petróleo mundial actual, compensando aproximadamente 56% del crecimiento de la demanda de petróleo prevista en el caso del Escenario Base.

**Los cambios sustanciales sugeridos por los escenarios ACT se fundamentan en lo siguiente:**

- Fuertes aumentos de la eficiencia energética en los sectores del transporte, la industria y la construcción.
- La eliminación significativa de emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de electricidad, ya que el abanico de combustibles utilizados para generarla se inclinará hacia la energía nuclear, las fuentes renovables, el gas natural y el carbón bajo la modalidad de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS).
- Mayor uso de los biocombustibles para el transporte.

**No obstante, incluso bajo los escenarios ACT, los combustibles fósiles siguen representando la mayor parte de la energía mundial en 2050.**

En el año 2050, la demanda de petróleo, carbón (salvo en un escenario) y gas natural es en todos los casos superior a la actual. Por lo tanto, la inversión en fuentes de energía convencionales seguirá resultando esencial.

**En los cinco escenarios ACT, se asume que la demanda de servicios energéticos crecerá rápidamente, sobre todo en los países en desarrollo.**

Los escenarios no implican que el crecimiento de la demanda de servicios energéticos se vea limitado en los países en desarrollo ni en los desarrollados. Por el contrario, muestran cómo se puede satisfacer esta demanda de manera más inteligente y con menores emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante la instrumentación de una amplia variedad de políticas, las cuales incluyen un aumento de la investigación, el desarrollo y la demostración (I+D+D) y programas de aplicación, así como incentivos económicos para promover el uso de tecnologías que emitan bajas cantidades de CO<sub>2</sub>. Las políticas consideradas son las mismas en los cinco escenarios ACT. Lo que varía son los supuestos acerca de la rapidez con la que se pueden lograr mejoras en la eficiencia energética, reducir el costo de importantes tecnologías como los sistemas de CCS, las fuentes renovables y la energía nuclear, y cuándo dichas tecnologías estarán disponibles de manera generalizada. Un sexto escenario, TECH Plus, ilustra las implicaciones de supuestos más optimistas sobre el avance de las tecnologías de generación de electricidad nuclear y energías renovables, así como en relación con biocombustibles avanzados y pilas de hidrógeno en el sector del transporte.

**El costo que conlleva lograr un uso de energía más sostenible en los escenarios ACT no es desproporcionado, pero exigirá un esfuerzo e inversión sustanciales, tanto por parte del sector público como del privado.** No se espera que ninguna de las tecnologías necesarias (cuando se comercialicen en su totalidad) tenga un costo marginal superior a los 25 USD por cada tonelada de emisiones de CO<sub>2</sub> no emitida en todos los países, incluidos aquellos en vías de desarrollo. A efectos comparativos, este costo es inferior al precio medio de los permisos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> en virtud del plan de comercio europeo durante los primeros cuatro meses de 2006. Un precio de 25 USD por tonelada de CO<sub>2</sub> añadiría unos 0,02 USD por kWh al costo de la electricidad generada mediante carbón y unos 0,07 USD/litro (0,28 USD/galón) al costo de la gasolina. El costo *medio* por cada tonelada menos de emisiones de CO<sub>2</sub> para el abanico tecnológico en su totalidad, una vez que se comercialicen plenamente todas las tecnologías, asciende a menos de 12 USD. No obstante, habrá significativos costos adicionales de transición en materia de I+D+D y de programas de aplicación para comercializar muchas de las tecnologías durante las próximas décadas. El precio de importación del petróleo será inferior, ya que el descenso de la demanda reducirá la presión ejercida sobre opciones de suministro más caras. Sin embargo, esta reducción en el costo puede no ser apreciada por los consumidores, puesto que se verá contrarrestada en su mayor parte por un aumento del costo de promoción de tecnologías que emitan bajos contenidos de CO<sub>2</sub>.

Hay muchas dudas sobre los próximos 50 años. Los escenarios ACT ilustran una serie de posibles resultados basados en supuestos que son más o menos optimistas con respecto a las reducciones en los costos alcanzadas por tecnologías como las fuentes renovables, la energía nuclear y la CCS en la generación de electricidad. A pesar de estas incertidumbres, de este análisis se desprenden **dos conclusiones principales**; la primera, que existen tecnologías que pueden hacer una diferencia durante los próximos 10 a 50 años; la segunda, que ninguna de dichas tecnologías puede hacerlo por sí sola. Perseguir el desarrollo de un abanico de tecnologías reducirá enormemente el riesgo y posiblemente los costos, si una o más tecnologías no lograsen el resultado esperado.

A continuación se resumen las tecnologías clave identificadas por los escenarios ACT que contribuyen a crear una gama adecuada para lograr un futuro energético sostenible.

## **Eficiencia energética en los edificios, la industria y el transporte**

Resulta indispensable acelerar el aumento de la eficiencia energética. Debe corregirse la reciente caída del ahorro de energía en los países de la OCDE. En realidad puede lograrse, ya que todavía existen posibilidades significativas de adoptar tecnologías más eficientes en los edificios, la industria y el transporte. En los países no pertenecientes a la OCDE, las posibilidades de mejora son aún mayores, ya que las economías de rápida expansión ofrecen grandes oportunidades de inversión en tecnologías eficientes desde el punto de vista energético.

En muchos países, se podría conseguir que los nuevos **edificios** fuesen 70% más eficientes que los actuales. Algunas de las nuevas tecnologías que pueden contribuir a dicha transformación todavía no se han comercializado, pero la mayoría sí. Actualmente, existen ventanas con un valor de aislamiento equivalente al triple del que lograban sus predecesoras. Las estufas de gasoil y de gas modernas han alcanzado una eficiencia del 95%. Los aparatos de aire acondicionado eficientes consumen entre 30 y 40% menos de energía que los modelos existentes hace diez años. La calefacción urbana, las bombas de calor y la energía solar permiten ahorrar energía. La mejora de la iluminación podría reportar rentables ahorros de entre 30% y 60%. Se han realizado importantes mejoras en refrigeradores, calderas de agua, lavadoras y lavavajillas. La energía de Stand-by (electrodomésticos en “vela”) representa alrededor de 10% de la electricidad residencial en los países de la AIE, pero existen tecnologías que pueden reducir considerablemente este consumo. Nuevas tecnologías como la medición “inteligente” de la energía, la generación microcombinada de energía y calor, las pilas de combustible y las placas solares fotovoltaicas están dando lugar a nuevos tipos de servicios energéticos.

En la **industria**, hay enormes posibilidades de reducir la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante mayor eficiencia de los motores, las bombas, las calderas y los sistemas de calefacción; el aumento de la recuperación de energía en los procesos de producción; el incremento del reciclaje; la adopción de materiales y procesos nuevos y más avanzados; y el mejor uso de materiales. Las fuentes más importantes de emisiones de CO<sub>2</sub> industriales son la industria del hierro y la del acero (26%), la producción de otros minerales como el cemento, el vidrio y la cerámica (25%), y los productos químicos y petroquímicos (18%). Las nuevas tecnologías industriales de última generación con posibilidades sustanciales de ahorrar energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> son, entre otras, las siguientes: las membranas avanzadas que pueden reemplazar a la destilación en algunos procesos petroquímicos; la “colada directa” de hierro y acero; y el uso de materias primas bioenergéticas en la industria petroquímica como sustitutos del petróleo y del gas natural.

Resulta especialmente importante mejorar la eficiencia energética en el sector del **transporte**, puesto que este sector consume el grueso de los productos petrolíferos y se caracteriza por un incremento más rápido de las emisiones. La eficiencia de los vehículos diesel y de gasolina convencionales se puede mejorar considerablemente. Entre las tecnologías más prometedoras se encuentran los vehículos híbridos y los motores diesel avanzados. Los turbocompresores, la inyección de combustible y los métodos electrónicos avanzados de control del motor pueden contribuir a la reducción del consumo de combustible. Los materiales nuevos y los motores más compactos pueden llevar a la consecución de vehículos más ligeros y con un consumo más eficiente del combustible. Asimismo, son posibles amplias mejoras en la eficiencia de los dispositivos de los vehículos, especialmente del aire acondicionado. Algunas medidas prácticas, tales como garantizar que los neumáticos estén correctamente inflados, pueden suponer una diferencia sorprendentemente significativa.

Las mejoras en cuanto a eficiencia son una prioridad principal para generar energía sustentable en el futuro. En los escenarios ACT, la mejora de la eficiencia energética en los sectores de la construcción, la industria y el transporte conlleva a un consumo de la energía entre 17% y 33% inferior

al del escenario base para 2050. Dependiendo del escenario, la eficiencia energética representa entre 45% y 53% de la reducción total de emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al escenario base para el 2050. En un escenario en el que las mejoras de la eficiencia global respecto al caso base sólo alcanzan 20% para 2050, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> se incrementan más de 20% respecto a los demás escenarios ACT.

## **Tecnologías limpias de tratamiento de carbón y de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>**

Las tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS) pueden reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la generación de energía, la actividad industrial y la producción de combustibles sintéticos de transporte. Las CCS podrían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del consumo de gas natural y de carbón en dichos sectores casi hasta cero. El costo de CCS es elevado, pero podría reducirse a menos de 25 USD por tonelada de CO<sub>2</sub> para 2030. Cuando el CO<sub>2</sub> capturado se puede utilizar para una recuperación mejorada del petróleo (EOR), los costos podrían ser inferiores e incluso negativos en algunos casos. No obstante, las posibilidades globales a largo plazo en materia de EOR de CO<sub>2</sub> son reducidas con respecto a las emisiones mundiales del sector de generación de energía.

Todos los elementos individuales necesarios para la CCS han sido demostrados, pero se necesita con carácter urgente una planta integrada de demostración. En especial, si se emplea con carbón, para poder limitar el incremento de costos del uso de CCS resulta importante que las centrales sean muy eficientes. Ya se encuentran disponibles, o en un estado de desarrollo avanzado, tecnologías más eficientes de combustión del carbón. Esto incluye plantas de carbón pulverizado a alta temperatura y de gasificación integrada en ciclo combinado de carbón (GICC).

En los escenarios sobre ACT, las tecnologías de CCS contribuyen a una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales de entre 20% y 28% por debajo del escenario base de cara a 2050. Las tecnologías "limpias" de carbón, combinadas con CCS, ofrecen una oportunidad especialmente importante para restringir las emisiones en economías de rápido crecimiento con amplias reservas de carbón, tales como China y la India. La CCS es indispensable para la función que puede desempeñar el carbón a la hora de proporcionar electricidad de bajo costo en un mundo presionado por el CO<sub>2</sub>. Esto se ilustra en un escenario en el que no se han incluido como una posible opción los sistemas CCS. Bajo dicho escenario, la demanda mundial de carbón es casi 30% inferior a la de escenarios que incluyen sistemas CCS y las emisiones de CO<sub>2</sub> son entre 10% y 14% superiores.

## **Generación de electricidad a partir de gas natural**

El porcentaje de gas natural utilizado en la generación de electricidad sigue siendo relativamente elevado en todas los escenarios ACT, representando entre 23% y 28% de la generación total en 2050. Esto supone un aumento superior al doble de la generación de electricidad a partir de gas respecto a los niveles de 2003. Hay amplias reservas de gas para satisfacer la demanda, pero muchos

factores influirán en su disponibilidad real y en el precio. El gas natural emite sólo la mitad de CO<sub>2</sub>, aproximadamente, que genera el carbón por kWh. La mejora de la eficiencia en las plantas de generación a gas es uno de los casos de éxito de las tecnologías modernas de generación de electricidad. Las plantas de gas de ciclo combinado más recientes alcanzan niveles de eficiencia de alrededor de 60%. Un uso más generalizado de esta tecnología puede reducir considerablemente las emisiones. Para lograr todavía mayor eficiencia, serán necesarios nuevos materiales que puedan resistir temperaturas muy elevadas.

## **Generación de electricidad a partir de energía nuclear**

La energía nuclear es una tecnología que no genera emisiones y que ha pasado por varias "generaciones". En la década de los noventa, se desarrolló la "tercera generación", con una serie de avances de seguridad y de economía, entre los que se incluye la "seguridad pasiva". Once países, incluidos aquellos de la OCDE que cuentan con mayor generación nuclear, se han unido para desarrollar centrales nucleares de "cuarta generación". Los tres obstáculos más importantes para seguir explotando la energía nuclear son sus elevados costos de capital; la oposición pública debido al peligro de accidentes nucleares y a las amenazas percibidas de los residuos radioactivos; y la posible proliferación de armas nucleares. El desarrollo de reactores de cuarta generación tiene por objeto resolver dichos problemas.

Suponiendo que se superen tales obstáculos, el aumento del consumo de energía nuclear puede ofrecer importantes reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En los escenarios ACT, la energía nuclear representa entre 16% y 19% de la generación de electricidad mundial en 2050. El aumento en el uso de la energía nuclear en relación con el escenario base representa entre 6% y 10% de la reducción de emisiones en 2050. En un escenario con pronósticos más pesimistas sobre la energía nuclear, su porcentaje de generación de electricidad cae a 6,7%, el mismo nivel del escenario base. En el escenario más optimista, TECH Plus, la energía nuclear representa 22,2% de la generación de electricidad en 2050.

## **Generación de electricidad a partir de fuentes renovables**

De cara al año 2050, el aumento del uso de fuentes renovables, tales como la hidráulica, la eólica, la solar y la biomasa para generar energía contribuye entre 9% y 16% a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en los escenarios ACT. El porcentaje de las energías renovables en la generación energética total aumenta desde 18% en la actualidad hasta 34% de cara a 2050. En un escenario con supuestos menos optimistas sobre la reducción de los costos de las tecnologías renovables, el porcentaje de generación es de 23% en 2050. Por otra parte, en el escenario TECH Plus, que es el más optimista en cuanto a tecnologías renovables y nucleares, la cuota de renovables alcanza más de 35% para 2050.

La **energía hidráulica** ya se emplea de forma generalizada y, en muchas zonas, es la fuente de energía más barata. Existen considerables posibilidades



de expansión, especialmente en el caso de centrales minihidráulicas. La energía hidráulica sigue siendo la mayor fuente de generación de energías renovables en todos los escenarios ACT.

Los costos de la **energía eólica “offshore” (marina) y “onshore” (terrestre)** han descendido mucho en los últimos años, gracias a su despliegue masivo, al uso de aspas de mayor tamaño y a controles más sofisticados. Los costos dependen de la ubicación. Los mejores emplazamientos terrestres, que pueden generar potencia a unos 0,04 USD por kWh, ya son competitivos con otras fuentes de energía. Las instalaciones marinas resultan más costosas, sobre todo en aguas profundas, pero se espera que sean rentables a partir del año 2030. En situaciones en las que la energía eólica representará un elevado porcentaje de la generación, esta última se tendrá que complementar con redes sofisticadas, sistemas de reserva o almacenamiento para ajustarse a la intermitencia que la caracteriza. En los escenarios ACT se prevé que la generación de energía a partir de turbinas eólicas aumente con gran rapidez. En la mayoría de los escenarios, la energía eólica es la segunda fuente de energía renovable más importante, por detrás de la hidráulica.

La combustión de **biomasa** para generar energía es también una tecnología probada. Resulta comercialmente atractiva cuando se dispone de combustible de calidad y cuando éste resulta asequible. Activar una central eléctrica a carbón con una reducida proporción de biomasa no exige importantes modificaciones en la central, puede resultar enormemente económica y puede contribuir además a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los costos de los recursos **geotérmicos** de elevada temperatura para generar energía han caído sustancialmente desde los años setenta. Las posibilidades de la energía geotérmica son enormes, pero se trata de un recurso localizado, al que sólo se puede acceder en determinadas partes del mundo para la generación de energía. Los recursos geotérmicos de temperatura más reducida para usos directos, como la calefacción urbana y las bombas geotérmicas, están más expandidos. La I+D+D pueden reducir además los costos e incrementar el alcance de la energía geotérmica.

La tecnología solar **fotovoltaica** (PV) está desempeñando un papel cada vez mayor en aplicaciones especializadas. Los costos han descendido gracias al mayor despliegue y al continuo trabajo de I+D. La concentración de la energía solar (CSP) es también un sistema muy prometedor. Sin embargo, de cara al 2050, el porcentaje de la energía solar (PV y CSP) en la generación de energía mundial seguirá siendo inferior a un 2% en todos los escenarios ACT.

## **Biocombustibles y pilas de hidrógeno en el transporte por carretera**

La búsqueda de alternativas que produzcan bajas emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector del transporte ha demostrado ser un reto aún mayor que en el caso de la generación de electricidad. El etanol derivado de las plantas es un insumo atractivo con buenas propiedades de combustión. Comúnmente se ha mezclado con gasolina (10% de etanol y 90% de gasolina), pero Brasil ha introducido con éxito mezclas mucho mayores con sólo realizar pequeñas

modificaciones en los vehículos. En Brasil se produce etanol extraído de la caña de azúcar en grandes volúmenes que compite favorablemente con la gasolina bajo los actuales precios del petróleo. La producción actual de etanol usa predominantemente cosechas de azúcar o almidón, limitando las materias primas disponibles, pero las nuevas tecnologías podrían permitir también el uso de biomasa de lignocelulosa como materia prima para generar energía. Actualmente, éste es uno de los ámbitos más avanzados de la investigación en materia de tecnologías energéticas.

El uso de hidrógeno, procedente de fuentes totalmente libres de carbono o con un contenido muy bajo, en vehículos con pilas de combustible podría eliminar el dióxido de carbono prácticamente en su totalidad del sector del transporte a largo plazo. Sin embargo, la adopción del hidrógeno requeriría grandes inversiones en infraestructuras. Además, a pesar de que los recientes avances en tecnologías de pilas de hidrógeno han sido impresionantes, éstas siguen siendo muy caras.

El aumento del uso de biocombustibles en el sector del transporte representa aproximadamente 6% de la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en todos los escenarios ACT, mientras que la aportación del hidrógeno es muy modesta. No obstante, en el escenario TECH Plus, el consumo de hidrógeno aumenta a más de 300 Mtoe por año en 2050 y representa alrededor de 800 Mt de ahorro de CO<sub>2</sub>, mientras que el impacto de la eficiencia de las pilas de combustible añade otras 700 Mt de ahorro en CO<sub>2</sub>. El hidrógeno y los biocombustibles abastecen 35% de la demanda energética total del transporte final en 2050 en el escenario TECH Plus, lo que constituye un aumento respecto al 13% registrado en el escenario ACT y el 3% del escenario base. Esto hace que la demanda primaria de petróleo en 2050 vuelva al nivel de hoy día.

## Después de 2050

.....

Lograr que los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> del año 2050 vuelvan a los niveles registrados actualmente, tal como lo muestran los escenarios ACT, permitiría estabilizar las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Sin embargo, para que esto ocurra, la tendencia de descenso de las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzada en el año 2050 tendría que prolongarse durante la segunda mitad del siglo XXI. En términos aproximados, los escenarios ACT muestran cómo se puede generar electricidad prácticamente libre de carbono para 2050. La eliminación de las emisiones de dióxido de carbono en el transporte, una labor más difícil, tendría que acometerse en las décadas siguientes.

Los supuestos más ambiciosos sobre tecnología del escenario TECH Plus tienen como resultado una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 16% por debajo de los actuales niveles para 2050. Este logro podría resultar alcanzable, pero sería arriesgado confiar en un progreso tecnológico aún más rápido del que se presenta en este escenario. También se podría considerar que el escenario TECH Plus da una idea de las tendencias que se pueden desarrollar con más fuerza y, tal vez, con mayor seguridad, durante la segunda mitad del siglo.

## Aplicación de los escenarios sobre ACT: implicaciones políticas

---

Se necesitará un esfuerzo internacional enorme y coordinado para lograr los resultados que implican las hipótesis sobre ACT. El apoyo público y privado será esencial. Se necesitará una cooperación sin precedentes entre las naciones desarrolladas y en vías de desarrollo, así como entre la industria y el gobierno. Esta labor es urgente, por lo que deberá llevarse a cabo antes de que se instale una nueva generación de infraestructura energética ineficaz y con altas emisiones de dióxidos de carbono. Este esfuerzo tardará décadas en completarse y requerirá inversiones significativas. Si bien, los beneficios serán sustanciales y no sólo para el medio ambiente. El descenso en el consumo de energía, así como en la contaminación del agua y de las emisiones de CO<sub>2</sub> podría ayudar a eliminar las posibles restricciones que las preocupaciones en materia de suministro energético y degradación medioambiental podrían constituir de otro modo sobre el crecimiento económico.

La aplicación de las hipótesis sobre ACT exigirá una transformación en el modo en que se genera la energía; en la forma en que se construyen y se utilizan las viviendas, las oficinas y las fábricas; y en las tecnologías utilizadas para el transporte. En definitiva, es el sector privado el que tendrá que aplicar los cambios que son necesarios. Sin embargo, el mercado por sí solo no siempre logrará los resultados deseados. Los gobiernos tienen una importante función que desempeñar en cuanto a apoyo de una labor de investigación y desarrollo innovadora y en ayudar a que las nuevas tecnologías superen algunos obstáculos desalentadores. El gobierno, la industria y los consumidores tendrán que cooperar ampliamente.

### **La eficacia de la energía es la máxima prioridad**

Mejorar la eficiencia energética suele ser la forma más barata, más rápida y más respetuosa del medio ambiente para satisfacer las necesidades energéticas del mundo. Al mejorar la eficiencia energética se reduce además la necesidad de invertir para aumentar la oferta energética. Muchas medidas de eficiencia energética ya son rentables, gracias al descenso de los costos de la energía. Sin embargo, todavía quedan importantes obstáculos que superar. Normalmente, los consumidores no están bien informados; pocos tienen en cuenta la eficiencia energética cuando compran electrodomésticos, coches o viviendas; incluso los directivos empresariales tienden a dar a la eficiencia energética una reducida prioridad cuando toman decisiones. Asimismo, existen también oportunidades de eficiencia energética que los consumidores jamás observan porque los fabricantes de frigoríficos, televisiones o vehículos no siempre se benefician por completo de las tecnologías existentes para hacer que sus productos sean más eficientes desde el punto de vista energético. Hay una amplia variedad de instrumentos políticos, como campañas de información al público, pautas no vinculantes, normas y objetivos, guías públicas para la contratación y compra de bienes y servicios, normativas vinculantes, estándares y otros incentivos financieros.

Los gobiernos deberían trabajar para ayudar a la industria y a los consumidores a adoptar y demandar tecnologías avanzadas que presten los mismos o mejores servicios a un costo inferior.



## Los programas específicos de I+D son esenciales

Hay una aguda necesidad de frenar la disminución de los presupuestos destinados a I+D en energía e inclusive de incrementarlos. La importancia del aumento de la investigación y el desarrollo en el sector privado es crítica. Algunas empresas están aumentando, de cara al futuro, sus compromisos, pero esta tendencia ha de perdurar y ampliarse. En el caso de tecnologías que ya son comerciales, el sector privado es el mejor situado para adaptar la investigación y el desarrollo a las necesidades del mercado.

No obstante, el I+D financiado con fondos gubernamentales seguirá siendo esencial, en especial, para tecnologías prometedoras que aún no se comercializan. Los presupuestos de I+D de los gobiernos en los países de la AIE están bastante por debajo de los niveles alcanzados en respuesta a las crisis del petróleo de los años setenta y se han mantenido estables o han descendido durante la pasada década. Será necesario revisar los presupuestos destinados a I+D en energía y a programas de despliegue, si se quiere que los escenarios ACT se materialicen. Algunos de los ámbitos con mayor potencial incluyen los biocombustibles avanzados, hidrógeno y pilas de combustible, el almacenamiento de energía y las energías renovables avanzadas. Hay algunos ámbitos de interés en la ciencia básica – sobre todo las biotecnologías, las nanotecnologías y los materiales – que podrían tener mayores implicaciones para la energía a largo plazo.

## La transición desde el I+D al despliegue tecnológico resulta crítico

La fase de despliegue puede exigir recursos considerablemente mayores a los de la fase de I+D. Para poder desplegarlas de forma masiva, algunas nuevas tecnologías que ya están en el mercado necesitan de respaldo gubernamental. Muchas tecnologías de energías renovables se encuentran en dicha situación. Hay que tratar de crear un puente para superar el “valle de la muerte” por el que han de pasar las nuevas tecnologías de camino a la plena comercialización. La experiencia muestra que las nuevas tecnologías se benefician de reducciones en los costos gracias a un “aprendizaje tecnológico”, a medida que el despliegue aumenta. Los programas de despliegue gubernamental también pueden poner en marcha actividades de I+D mediante la industria privada, mediante la creación de expectativas sobre futuros mercados para la nueva tecnología.

Es especialmente urgente comercializar centrales avanzadas de carbón con captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. De ser así, el carbón puede seguir desempeñando un importante papel en el abanico energético hasta 2050, reduciendo de manera significativa los costos que supone el cambio hacia un futuro energético más sostenible. Para acelerar la introducción de sistemas CCS, se necesitan al menos 10 centrales integradas de carbón a escala completa con CCS antes de 2015, para fines demostrativos. Estas centrales costarán entre 500 y 1,000 millones de USD cada una. Los proyectos sólo se pueden realizar si los gobiernos fortalecen su compromiso con el desarrollo de CCS y con el despliegue y cooperan estrechamente con el sector privado. La participación de los países en desarrollo que disponen de amplias reservas de carbón, como China, será crucial en este proceso. Se necesitarán iniciativas similares para comercializar la tecnología nuclear de cuarta generación.

## **Los gobiernos tienen que crear un entorno político estable que promueva opciones energéticas que emitan bajas emisiones de CO<sub>2</sub>.**

Las nuevas tecnologías energéticas pueden ser más caras, incluso tras su plena comercialización, que aquellas que están destinadas a sustituir. Por ejemplo, las tecnologías CCS no tendrán un impacto significativo a menos que se implanten incentivos económicos duraderos a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los escenarios ACT incluyen una amplia implantación de tecnologías con un costo marginal de hasta 25 USD por tonelada de CO<sub>2</sub> en 2050. Esto podría conseguirse de muchas formas, tales como los programas nacionales o internacionales "cap and trade" (sistema de límites máximos y comercialización), pero también mediante acciones reglamentarias o fiscales de ámbito nacional. Se necesitan incentivos tanto en los países desarrollados como en los en vías de desarrollo. Los incentivos para las industrias que utilicen grandes cantidades de energía tendrán que coordinarse internacionalmente para evitar el riesgo de que las fábricas puedan desplazarse a lugares donde la reglamentación no es tan estricta, incrementando así en realidad las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>.

## **También hay que prestar atención a los obstáculos no económicos**

Hay una serie de obstáculos diferentes, que no son económicos ni técnicos, que pueden retrasar o impedir la innovación y el despliegue comercial de las nuevas tecnologías energéticas. Dichos obstáculos pueden adoptar muchas formas, lo que incluye normas de concesión de licencias y planificación, la falta de información y educación, los reglamentos sobre sanidad y seguridad y la falta de coordinación entre los diferentes sectores. Para que el potencial de las tecnologías prometedoras se materialice, se ha de prestar atención a todos estos aspectos.

## **Será necesaria una colaboración entre los países desarrollados y aquellos en desarrollo**

Para 2050, la mayoría de la energía mundial se consumirá en los países en desarrollo, muchos de los cuales están experimentando un rápido crecimiento en todos los sectores de consumo de energía. Por lo tanto, los países en desarrollo también tendrán que plantearse la seguridad energética y las políticas en materia de emisiones de CO<sub>2</sub>. Se necesita una transformación significativa de la economía energética mundial para satisfacer las legítimas aspiraciones de los ciudadanos de los países en desarrollo en relación con los servicios energéticos, a fin de garantizar el suministro y su sustentabilidad. Los países desarrollados tienen una importante función que desempeñar ayudando a los países en desarrollo a incorporarse al proceso de innovación tecnológica y emplear un equipamiento y prácticas eficientes mediante la transferencia de tecnología, la creación de capacidades y los esfuerzos de colaboración en materia de I+D+D. Los países en vías de desarrollo con rápido crecimiento ofrecen oportunidades para acelerar el aprendizaje tecnológico y reducir los costos de la tecnología, tales como los equipamientos eficientes.

# The Online Bookshop

International Energy Agency



All IEA publications can be bought  
online on the IEA website:

**[www.iea.org/books](http://www.iea.org/books)**

You can also obtain PDFs of  
all IEA books at 20% discount.

Books published before January 2005  
- with the exception of the statistics publications -  
can be downloaded in PDF, free of charge,  
from the IEA website.

## **IEA BOOKS**

**Tel: +33 (0)1 40 57 66 90**  
**Fax: +33 (0)1 40 57 67 75**  
**E-mail: [books@iea.org](mailto:books@iea.org)**

International Energy Agency  
9, rue de la Fédération  
75739 Paris Cedex 15, France

### **CUSTOMERS IN NORTH AMERICA**

Turpin Distribution  
The Bleachery  
143 West Street, New Milford  
Connecticut 06776, USA  
Toll free: +1 (800) 456 6323  
Fax: +1 (860) 350 0039  
[oecdna@turpin-distribution.com](mailto:oecdna@turpin-distribution.com)  
[www.turpin-distribution.com](http://www.turpin-distribution.com)

**You can also send  
your order**

**to your nearest**

**OECD sales point**

**or through**

**the OECD online**

**services:**

**[www.oecdbookshop.org](http://www.oecdbookshop.org)**

### **CUSTOMERS IN THE REST OF THE WORLD**

Turpin Distribution Services Ltd  
Stratton Business Park,  
Pegasus Drive, Biggleswade,  
Bedfordshire SG18 8QB, UK  
Tel.: +44 (0) 1767 604960  
Fax: +44 (0) 1767 604640  
[oecdrow@turpin-distribution.com](mailto:oecdrow@turpin-distribution.com)  
[www.turpin-distribution.com](http://www.turpin-distribution.com)