

5. Resumen y Conclusiones

A continuación se resumen los puntos y conclusiones más importantes extraídas de este trabajo.

Contexto energético actual

1. La energía es uno de los motores más importantes que mueven a las sociedades. Esto se cumple tanto para las sociedades industrializadas como aquellas que están subdesarrolladas o en vías de desarrollo. Actualmente existe a todos los niveles una fuerte dependencia en los combustibles fósiles, en particular en el petróleo. La tendencia de la demanda energética, tanto a escala mundial como a escala local es la de seguir aumentando. Esto está avalado por diversos informes internacionales los que además advierten de la necesidad de una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

2. En cuanto a la demanda energética mundial, la situación actual se podría resumir de la siguiente manera: se consumen al año en torno a 10500Mtoe de energía primaria de la cual aproximadamente el 80% son combustibles fósiles; solamente el 12% son energías renovables, y de éstas, el 80% lo representa la biomasa. La previsión es, según diversos informes, realizados por la Agencia Internacional de la Energía y la Comisión europea, de una tasa de crecimiento de la demanda energética del 1.8%/año. Los combustibles fósiles seguirían siendo los predominantes representando el 90% del consumo total en 2030. En cuanto a las energías renovables se prevé una marcada aceleración del proceso de difusión, sin embargo debido a su limitada implantación inicial, su contribución al mercado representaría menos del 1% del consumo mundial en el 2030. La Unión Europea es la zona del planeta donde más se contribuye al impulso de este tipo de energía.

3. Los principales conductores del desarrollo de los sistemas energéticos según la Comisión Europea, son la demografía y el crecimiento económico. Se espera que en las próximas décadas, la población mundial siga aumentando, de modo que para el año 2030 se podrían haber superado los 8 billones de personas. Las regiones en donde la población mundial crecería de forma más acentuada sería África y Oriente Medio consiguiendo un mayor peso en la población mundial. El crecimiento económico mundial esperado es del 3% al año; los países asiáticos serán los principales motores de este crecimiento.

4. La mayoría del petróleo que se produce hoy en día proviene de campos petrolíferos descubiertos antes de la crisis de 1973. A pesar de los avances y de las nuevas tecnologías en materia de explotación, actualmente se consumen cuatro barriles de petróleo por cada barril que se halla en nuevas reservas. Algunos expertos estiman que el máximo de la producción mundial de petróleo se producirá en torno al año 2005. Aunque en esto no hay unanimidad. Sin embargo, en lo que todos los expertos coinciden es en que cuando la producción mundial toque techo, prácticamente la totalidad de las reservas sin explotar se hallarán en los países musulmanes de Oriente Medio. Esta situación puede llevar asociada un cambio de poder a escala mundial.

5. Suponiendo el fin del petróleo, hay quien piensa en el gas natural como su sustituto, sin embargo, las reservas de gas natural tampoco son ilimitadas. La relación reservas producción, es decir, el número de años que durarán las reservas con las tasas actuales de producción es de 62 años. Además al igual que ocurre con el petróleo, gran parte de las reservas se encuentran concentradas en Oriente Medio.

6. El carbón o los petróleos no convencionales, presentan otro tipo de problemas en cuanto a su utilización como sustitutos del petróleo, como son el hecho de tener peor eficiencia o ser más contaminantes.

7. El precio del barril de petróleo es una variable muy inestable, que ha sufrido fuertes subidas en los últimos años. Y muchos países podrían ver peligrar la estabilidad de sus economías si no se logra controlar el precio del petróleo o si no se han encontrado para la fecha unos sustitutos adecuados y competitivos.

El medioambiente.

8. La comunidad científica está alertando sobre cómo la actividad humana está provocando el aumento de emisiones de efecto invernadero a la atmósfera y sobre sus posibles consecuencias en el calentamiento terrestre. La temperatura superficial de la Tierra ha aumentado en el último siglo, y se prevé que lo siga haciendo de forma más acentuada en el siguiente. La Comisión Intergubernamental sobre Cambio Climático explicita que existen nuevas y más contundentes evidencias de que la mayor parte del calentamiento observado en los últimos cincuenta años es atribuible a actividades humanas. La concentración atmosférica de CO₂ es actualmente un 31% superior que en 1750, y es probablemente la más alta en los últimos 20 millones de años. Alrededor de tres cuartos de este incremento es consecuencia de la quema de combustibles fósiles. Los efectos de las emisiones se sentirán en el futuro, debido a que la mayoría de los gases de efecto invernadero pueden permanecer en la atmósfera durante siglos.

9. La mayoría de la comunidad científica, liderada por el IPCC y la Academia Nacional de las Ciencias de los Estados Unidos han unido el aumento de la concentración atmosférica de CO₂ y el calentamiento terrestre en una relación causa-efecto.

10. La elevación de la temperatura de la superficie terrestre unos pocos grados estaría seguida de grandes desastres medioambientales.

11. No hay consenso internacional en la lucha contra el cambio climático. El Protocolo de Kyoto ha sido el principal convenio internacional para la reducción de emisiones de CO₂ y entró en vigor el pasado 16 de Noviembre, pero no está firmada por Estados Unidos, el principal emisor de gases de efecto invernadero. Desde la firma del tratado se han reducido considerablemente las exigencias con el fin de facilitar el cumplimiento del convenio. Una de las medidas ha sido autorizar la contabilización neta de las emisiones de carbono una vez deducidas las cantidades de CO₂ que se suponen son absorbidas por los sumideros de carbono, fundamentalmente los bosques. Esta salvaguarda ha levantado una gran polémica dada la dificultad de hallar una metodología adecuada que permita contabilizar qué cantidad de toneladas de gases son capaces de absorber los sumideros de cada país. Se han desarrollado programas como es el **CO₂Fix** que cuantifica las cantidades y flujos de carbono en los bosques, compartimentos de materia orgánica del suelo y en productos maderables. Estudios revelan que el establecimiento de plantaciones de rápido crecimiento es la manera más efectiva de reducir el contenido de anhídrido carbónico de la atmósfera. Sin embargo, el aumento de las reservas de carbono puede entrañar un mayor riesgo de aumento de emisiones de CO₂ en el futuro, debido a los incendios forestales y a la deforestación. Además del peligro de repoblar zonas con especies no autóctonas de crecimiento rápido, con el consiguiente riesgo de que la especie nueva colonice a la autóctona.

12. La Unión Europea ha cumplido el compromiso de estabilizar en el año 2000 sus emisiones de CO₂ en los niveles de 1990, aunque lo ha conseguido fundamentalmente gracias a las excepcionales reducciones registradas en Alemania y el Reino Unido. No se espera, sin embargo, que los niveles de emisión de gases de efecto invernadero puedan disminuir para 2010 si no se adoptan medidas adicionales.

Planteamiento del problema

13. Bien sea por el agotamiento de los combustibles, bien por los irreversibles daños medioambientales que la combustión de estos provoca, se establece como prioridad la búsqueda e implantación de un sistema energético alternativo al actual.

Recursos disponibles y Posibilidades

14. En la Tierra no escasean las energías primarias (la energía nuclear, solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y mareomotriz), además muchas de ellas son renovables.

14.1 La energía hidráulica es un recurso inagotable que se renueva de forma gratuita y constante. Una vez realizada la central, tiene una producción nula de emisiones contaminantes. Es una tecnología muy conocida que se utiliza para la producción de energía eléctrica. Entre sus inconvenientes están las grandes inversiones necesarias generalmente, el impacto local. La capacidad de generación puede variar dependiendo la época del año.

14.2 Las energías solar y eólica tienen características parecidas. Son inagotables y no contaminantes. No pueden ser almacenadas, y tiene que ser transformada inmediatamente en otra forma de energía. Son energías discontinuas y aleatorias. Su aprovechamiento tiene bajos rendimiento, por lo que son necesarias grandes superficies de captación, con las consiguientes grandes inversiones. Por lo tanto, tanto la energía solar como la eólica son energías gratuitas, pero su transformación en energía útil es costosa, y en muchos casos, sobretodo la solar, está en fase de experimentación.

14.3 La biomasa también es una energía renovable. Se puede almacenar. La tecnología necesaria para su utilización es sencilla y está muy extendida. Sin embargo el poder calorífico de la biomasa suele ser mucho menor que el de los combustibles fósiles, por lo que en su utilización se obtienen bajos rendimientos. Además su combustión produce emisiones contaminantes.

14.4 La energía geotérmica es una energía inagotable y tan abundante, que si pudiera aprovecharse, sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas mundiales. Sin embargo es una energía difusa y de difícil aprovechamiento.

14.5 La energía nuclear por fisión tiene unas emisiones nulas, y una vez construida la central es la forma más barata de energía eléctrica, sin embargo si se tienen en cuenta los costes de construcción de la central, desmantelamiento y almacenaje de los residuos nucleares, la producción de electricidad no resulta rentable ni económica ni energéticamente. Además la energía nuclear por fisión lleva asociada la generación de residuos radiactivos. No es una energía inagotable.

14.6 La energía nuclear por fusión está en fase de investigación. Hasta la fecha los resultados obtenidos no son rentables energéticamente, es decir que para

conseguir que se produzca una fusión nuclear es necesario consumir más energía que la energía liberada durante la fusión.

15. En resumen que las energías primarias pueden ser utilizadas para un sistema energético independiente de los combustibles fósiles, sin embargo, carecen de muchas de las propiedades que sí poseen los combustibles fósiles. A escala de usuario, alrededor de un cuarto de la energía primaria utilizada es usada en forma de electricidad y tres cuartos en forma de combustible. Por lo tanto las fuentes de energías deberían poder convertirse, al menos parte de ellas, en portadores de energía. Se presenta la necesidad de **fabricar** un combustible.

16. A parte del hidrógeno existen otros compuestos que pueden ser fabricados para ser utilizados combustibles alternativos. El etanol, biodiesel y metanol son algún ejemplo de ellos.

16.1 El etanol puede ser fabricado a partir de una gran variedad de productos renovables. Además puede ser producido de forma local. En la actualidad muchos vehículos pueden circular con mezclas de gasolina y etanol. La mayoría con bajos porcentajes en la mezcla E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) y algunos con altos niveles E85 (85% de etanol y 15% de gasolina). Utilizando etanol, en lugar de gasolina, se reduce la contaminación atmosférica.

16.2 El biodiesel es un sustituto del combustible diesel procedente del petróleo que se produce a partir de aceites vegetales nuevos y usados y de grasas animales. Las mezclas de hasta un 20% de biodiesel y diesel se pueden utilizar en casi todos los motores diesel y es compatible con la mayoría de la infraestructura de almacenamiento y distribución. Y las mezclas puras pueden ser ya utilizadas en muchos motores. Utilizando biodiesel en lugar de diesel se reducen las emisiones de hidrocarburos inquemados, de monóxido de carbono, de sulfatos, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de partículas, pero se aumentan las de óxidos de nitrógeno. El biodiesel neto reduce las emisiones de dióxido de carbono en más de un 75% frente al diesel procedente del petróleo.

16.3 El metanol tiene características similares al etanol. Puede ser utilizado directamente para alimentar las pilas de combustible tipo DMCF.

El hidrógeno

17 El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y el tercero en la Tierra, sin embargo, no es frecuente encontrarlo en su forma pura, sino combinado con

otros elementos formando compuestos más estables. De modo que el hidrógeno no es un recurso, sino que hay que producirlo. Entre sus propiedades se encuentran las siguientes:

17.1 El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido. No es, por tanto, detectable en ninguna concentración por los sentidos humanos.

17.2 No es tóxico, pero puede resultar asfixiante al diluir el oxígeno necesario en el aire respirable.

17.3 No es explosivo. Para que el hidrógeno arda son necesarias tres condiciones: que se mezcle con un oxidante, que la mezcla esté dentro de los límites de inflamabilidad y que esté presente una fuente apropiada de ignición. Tanto la mezcla de hidrógeno aire, como la de hidrógeno oxígeno tiene unos límites de inflamabilidad muy amplios.

17.4 La mínima energía de chispa requerida para incendiar el hidrógeno es considerablemente inferior que la del metano o la de la gasolina, sin embargo, la energía de ignición de estos dos combustibles es ya lo suficientemente baja para que arda con cualquier fuente de ignición.

17.5 El hidrógeno es más ligero que el aire en condiciones normales (NTP) y tiende a subir a temperaturas superiores a 23 K. El vapor saturado es más pesado que el aire y permanece cerca del suelo hasta que aumenta la temperatura. Las velocidades de flotabilidad están relacionadas con la diferencia de densidades entre el combustible y el aire; por lo tanto, el combustible gaseoso frío y denso producido por los escapes de hidrógeno líquido subirán más lentamente que aquellos a temperatura y presión estándar.

17.6 La llama hidrógeno-aire-oxígeno es incolora.

17.7 El hidrógeno tiene un coeficiente de Joule-Thomson negativo. Esto significa que el hidrógeno ante una expansión isentálpica se calienta. Aunque este calentamiento no aumenta el peligro de ignición de forma significativa.

18 Entre las razones por las que se elige al hidrógeno como portador de energía alternativo están las siguientes:

18.1 El hidrógeno es inagotable. Es decir se puede producir a partir energía renovables y agua, y cuando se utiliza se emite vapor de agua y calor. Y sus materias primas están muy distribuidas.

18.2 Algunos estudios muestran que en casi todas las formas de utilización, el hidrógeno puede convertirse en la forma de energía más eficientemente.

18.3 El hidrógeno no es más inseguro que el resto de combustibles simplemente es diferente y hay que aprender a utilizarlo.

18.4 Ni el hidrógeno ni sus productos de la combustión son contaminantes.

18.5 El hidrógeno tiene el potencial de ser utilizado sin que se produzcan emisiones de efecto invernadero.

18.6 El hidrógeno tiene el mejor factor de movilidad entre todos los combustibles.

18.7 El hidrógeno es muy versátil y puede ser utilizado a través de distintos procesos de conversión como son la combustión con llama, la producción directa de vapor, combustión catalítica, conversión química, y conversión electroquímica.

Producción de hidrógeno

19 El hidrógeno no se encuentra en la naturaleza en su estado elemental, sino que tiene que ser producido a partir de otras fuentes y con la aportación de energía. En todas las transformaciones de energía se produce una pérdida de la misma en forma de calor. Cualquiera que sea la fuente la energía necesaria en la fabricación será superior a la que se obtenga de la utilización del hidrógeno. Por este motivo, no tendría sentido utilizar el petróleo o el gas natural como materia prima para la fabricación del hidrógeno. Por otro lado, si el hidrógeno se obtiene a partir de un combustible fósil, como es el carbón, el petróleo o el gas natural, durante su producción se producen emisiones de CO₂ (hidrógeno sucio). Si el hidrógeno se obtiene a partir del agua y con el aporte energético de energías renovables durante la vida completa del hidrógeno no se habrían producido emisiones de CO₂ (hidrógeno limpio). En el caso de la biomasa el tema de las emisiones de CO₂ es más complejo, ya que para la producción de hidrógeno se ha emitido CO₂ sin embargo, ese CO₂ fue capturado previamente para formar la biomasa y todo esto en un ciclo visible por el hombre.* El caso de la energía nuclear también es complejo, porque la energía nuclear no produce emisiones de CO₂, pero produce residuos radiactivos. En la actualidad se están desarrollando métodos de captura de dióxido de carbono, en cuyo caso la producción de hidrógeno a partir de los combustibles fósiles estaría libre de CO₂.

20 Los métodos de producción que no originan la producción de dióxido de carbono, se resumen en: la electrolisis, siempre que la electricidad necesaria provenga de una fuente renovable, los ciclos termoquímicos del agua y la fotólisis del agua.

21 La Electrolisis es el método mejor conocido para la producción de hidrógeno. Es muy efectiva como medio de producir hidrógeno puro en cantidades pequeñas. Debido a que utiliza electricidad, la eficiencia térmica del proceso incluye la eficiencia de la

* Los combustibles fósiles también capturaron el CO₂ de la atmósfera, pero eso sucedió hace millones de años, y no dentro de un ciclo de vida visible por el hombre.

generación de la energía eléctrica, así como la electrolisis en sí misma. El proceso de electrolisis tiene una eficiencia generalmente de entorno al 75%, y la eficiencia de producción de energía eléctrica varía dependiendo del medio por el que se produzca ésta. Por lo que en general la eficiencia del proceso global de electrolisis se encuentra entre el 25-45% o incluso menos si es producido por fuentes de energía renovable. La electrolisis no ha sido empleada en grandes plantas debido, principalmente, a su baja eficiencia comparada con el reformado de vapor. La producción de hidrógeno usando la electrolisis tiene el potencial de estar completamente libre de emisiones de emisiones si la electricidad se genera a partir de una fuente de energía renovable limpia como puede ser la energía solar y eólica. La producción de hidrógeno usando la electrolisis tiene el potencial de estar completamente libre de emisiones si la electricidad se genera a partir de una fuente de energía renovable limpia como puede ser la energía solar y eólica.

22 La producción de electricidad: la producción basada en lignito carbón y petróleo son los que producen mayor impacto ambiental, seguida de la energía nuclear y gas natural. Las energías eólica y minihidráulica son los métodos de producción de electricidad menos contaminantes. Las instalaciones de producción de electricidad mediante energía solar fotovoltaica requieren de un gran gasto energético, que actualmente penaliza su impacto ambiental.

23 El Reformado de Vapor de Gas Natural es, en la actualidad, la tecnología dominante para la producción de hidrógeno ya que es el método más barato y tiene una eficiencia del 70%, actualmente no es igualada por ninguna otra tecnología. Entre los inconvenientes se encuentran los hechos de que es un método que produce CO₂ y que el hidrógeno obtenido necesita ser purificado para su utilización en otras aplicaciones.

24 La producción de hidrógeno a partir de la Gasificación del Carbón es casi dos veces más cara que a partir del reformado de gas natural, debido fundamentalmente a dos factores. Por un lado la producción de hidrógeno a partir de la gasificación requiere dos reactores que trabaja a diferente temperatura. Y por otro a la relación hidrógeno carbono, que en el gas natural es de 4:1 mientras que en el carbón es de 0.8:1. Por este motivo también por cada hidrógeno producido se emite más dióxido de carbono en el caso del carbón. Actualmente en Japón se está desarrollando un nuevo proceso denominado HyPr-RING que integra todo el proceso en un único reactor, con lo que se reducen los costes y se aumenta la eficiencia del proceso.

25 La producción de hidrógeno mediante la oxidación parcial de hidrocarburos ofrece como ventajas frente al reformado de vapor que utiliza aire en lugar de vapor y que es una reacción exotérmica por lo que no requiere un aporte de energía externa

durante la operación. Como desventaja está el hecho de que se produce una menor cantidad de hidrógeno por cada unidad de carbono consumida.

26 La producción de hidrógeno se podría clasificar como un método semilimpio de producción de hidrógeno, ya que aunque se emite CO₂ durante la producción, en el computo global no contribuye al incremento neto de las emisiones*. La seguridad energética estaría afirmada puesto que la biomasa es un recurso renovable y además este concepto engloba una gran cantidad de productos. La producción de hidrógeno a partir de biomasa tiene el potencial de ser competitiva comercialmente.

27 Los ciclos de hidrólisis termoquímica necesitan del aporte de energía en forma de calor. Si esta se obtiene a partir de energía solar, este método se convierte en otra forma de producción de hidrógeno limpio. Tiene unas buenas eficiencias, que oscilan entre el 40 y el 50%. Sin embargo el control de las condiciones de reacción puede resultar complicado y aunque se ha demostrado a escala de laboratorio aún no a escala industrial. Y además algunos de los componentes de los ciclos son muy corrosivos.

28 La producción de hidrógeno mediante fotólisis se encuentra en una fase muy temprana de desarrollo, y depende fundamentalmente del desarrollo de materiales. Además las eficiencias de conversión son aún muy pequeñas. Se espera que para 2015 se obtengan eficiencias del 15%. La Universidad de Hawai está concentrada en el desarrollo de un “fotodiodo híbrido” que incorpora un óxido de metal de bajo coste y una fina película de semiconductor fotovoltaico. Este es un proceso de producción de hidrógeno limpio.

29 La producción fotobiológica de hidrógeno se basa en la producción de hidrógeno mediante la enzima hidrogenasa, que está presente en algunas algas verdes. Podría convertirse en una tecnología apreciable comercialmente. Es una forma de producción de hidrógeno limpio y actualmente se han conseguido eficiencias de hasta el 10%.

30 En los análisis de ciclo de vida realizados por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) se puede concluir que la producción de hidrógeno a partir del reformado de vapor de gas natural contribuye al calentamiento global doce veces más que la producción a partir de la electrolisis con la electricidad producida a partir de energía eólica. Y además en el segundo caso se obtiene veinte veces más hidrógeno por cada unidad energética de combustible fósil consumido.

* Descontadas las emisiones que se producirían en el transporte y procesado de la biomasa, que en algunos casos podrían resultar significativas.

31 Análisis globales sobre los sistemas de producción del hidrógeno apuntan a que a corto plazo el desarrollo recaerá fundamentalmente en los combustibles fósiles convencionales, mientras que muy a largo plazo, también podría incluir los procesos de producción fotobiológica, fotoelectroquímica y los ciclos de hidrólisis termoquímica.

Almacenamiento y Distribución del hidrógeno

32 El desarrollo de un sistema de almacenamiento eficiente del hidrógeno es un tema aún sin resolver, y representa una de las principales barreras de la implantación de una energética basada en el hidrógeno. El almacenamiento tiene que resolver problemas en relación con el peso, volumen, coste y seguridad.

33 El almacenamiento como hidrógeno comprimido es la tecnología con más experiencia y actualmente de las más rentables económicamente. Consume gran cantidad de energía, en torno al 20% de la energía contenida en el hidrógeno si se comprime a 350bar. Además los contenedores o cilindros son muy pesados y costosos.

34 El almacenamiento como hidrógeno licuado también incurre en un gran consumo de energía, entre el 30-40% de la energía contenida en el hidrógeno. La mayor preocupación en el almacenamiento de hidrógeno líquido, junto con la seguridad, es minimizar las pérdidas de hidrógeno por evaporación flash. Prácticamente cualquier transferencia de calor al líquido supone alguna evaporación del hidrógeno. Lo que supone una pérdida de eficiencia. En aplicaciones de transporte de larga duración en buques el hidrógeno que se evapora se captura y sirve para alimentar la caldera. Los tanques de mayor volumen tienen menos pérdidas proporcionalmente que los pequeños, debido a que la relación entre el área y el volumen es menor.

35 El almacenamiento en hidruros metálicos presenta como mayores ventajas una menor demanda de volumen y una mayor seguridad comparada con el almacenamiento como hidrógeno comprimido o líquido. Los hidruros metálicos tienen dos problemas principales cuando se utilizan para el almacenamiento del hidrógeno. El primero es que se rompen en finas partículas después de repetidas absorciones y liberaciones de hidrógeno. Y el segundo es que los hidruros metálicos son sensibles a las impurezas reactivas como el oxígeno y el monóxido de carbono. Aunque estos problemas se pueden resolver encapsulando finas partículas de hidruros metálicos en una matriz porosa de sílice. Las capacidades de los hidruros metálicos se mueven entre el 2-6% en peso. El coste de almacenamiento es hoy mayor para los hidruros metálicos frente al hidrógeno comprimido.

36 Los hidruros químicos pueden presentar capacidades de absorción de hasta un 37% en peso. Son capaces de absorber el vapor de agua del aire produciendo hidrógeno en una reacción exotérmica, por eso para que puedan ser manejados con seguridad se mezclan con aceites minerales. En el proceso de regeneración se utiliza un fuente de carbono y se emite monóxido de carbono.

37 Las nanoestructuras de carbono, debido a su gran área superficial, a su baja densidad y un gran volumen de poros, y a su interacción débil con las moléculas de hidrógeno, se presentan con un gran potencial para el almacenamiento del hidrógeno. Se han documentado capacidades de almacenamiento de un 60% en peso, sin embargo, estos resultados no han podido ser demostrados. La capacidad del almacenamiento depende sensiblemente de los procedimientos de deposición y tratamiento, y de los diferentes métodos de carga y liberación de hidrógeno. Se han demostrado capacidades de almacenamiento de hasta 8% en peso. Sin embargo, la adición de determinadas sustancias, como puede ser el potasio, podrían mejorar esta capacidad.

38 El almacenamiento a gran escala presenta menos problemas. Entre las soluciones más competitivas están el uso de grandes cavidades subterráneas y el almacenamiento en gaseoductos con ligeras variaciones de la presión que puedan absorber las fluctuaciones de suministro y demanda.

39 En el caso de la distribución no hay sistemas que presenten claras ventajas frente al resto. La elección de la forma y método y de distribución más adecuado va a depender de dos factores fundamentalmente, la distancia, hasta la cual hay que transportar el hidrógeno, y la cantidad de hidrógeno a distribuir. A grandes rasgos la elección de los gaseoductos es la que más rentable supone cuando hay que distribuir grandes cantidades de hidrógeno, y el hidrógeno líquido o comprimido por tierra, cuando estas cantidades son menores. Sin embargo habría que analizar cada caso en concreto. Pero una buena política para ahorrar costes sería integrar la producción y distribución.

40 La generación distribuida se presenta como otra posibilidad a la distribución. En este caso los gastos de producción son mayores y los de distribución se reducirían considerablemente o incluso se anularían si la producción se realiza en el mismo punto que el consumo.

Aplicaciones del hidrógeno

41 La célula de combustible será la principal receptora del hidrógeno en una energética del hidrógeno. Las grandes ventajas de las células de combustible frente a

otros sistemas de producción de energía eléctrica son que no producen emisiones, a excepción del vapor de agua, que son muy silenciosas y que pueden alcanzar eficiencias muy altas sobretodo si el calor que producen es aprovechado, es decir, si se utilizan en cogeneración. Además son escalables, es decir que sus potencias oscilan entre unos pocos vatios hasta centrales de varios megavatios, y pueden tener usos estacionarios y móviles. Se está trabajando en reducir el coste de los catalizadores, para que no sea necesario el uso de metales nobles, en la tolerancia a impurezas, al funcionamiento de la célula en temperaturas bajo cero, la fiabilidad, la vida media, el volumen, el peso y la seguridad. La Agencia Internacional de la Energía proyectó en 2002 que las células de combustible comenzarán a realizar una contribución significativa en el aporte global de energía tras el 2020, sobretodo en aplicaciones estacionarias. De hecho, si se produce una caída en su coste, podrían convertirse en la principal energía de generación distribuida. Actualmente, la mayoría de las células de combustible son mucho más costosas que el sistema convencional con el que compiten (de 2 a 20 veces más) y éste es el principal obstáculo para su expansión.

42 El sector de las aplicaciones portátiles es un mercado donde las células de combustible podrían introducirse a corto plazo, ya que en este campo tienen precios comparables a los dispositivos a los que sustituyen. Las aplicaciones con hidrógeno podrían incrementar el tiempo de funcionamiento de aparatos electrónicos portátiles, eliminar el ruido y las emisiones características de los motores de combustión interna en sistemas de generación.

43 En la generación estacionaria los dos principales problemas son los precios, que todavía son muy altos para ser competitivos, y los tiempos de vida que son cortos. Los generadores de emergencia es un mercado en donde sí que se están haciendo un hueco las células estacionarias.

44 El sector del transporte será el principal receptor de una energética basada en el hidrógeno. Los vehículos de células de combustible todavía no tienen las prestaciones de los vehículos de combustión interna alternativos diesel o gasolina, pero tienen mayor alcance que los vehículos de baterías. Otra ventaja frente a los vehículos de batería es que recargar hidrógeno es un proceso que puede tardar pocos minutos mientras que recargar una batería puede llevar horas. Los motores de combustión interna de los vehículos convencionales, pueden funcionar con hidrógeno con ligeras modificaciones. La principal barrera tecnológica para el desarrollo en el sector del transporte es el almacenamiento del hidrógeno. Las células de combustible de los vehículos podrían servir para producir electricidad en las casas, oficinas y localizaciones remotas. Y el hidrógeno podría ser producido también en el domicilio. Además el hidrógeno produce emisiones nulas en el punto de consumo, por lo que los fabricantes de vehículos

terminarían con el problema de las restricciones, cada vez más rígidas, en las emisiones impuestas por los gobiernos. En un experimento realizado por el científico Michael Swain demostró que en un accidente un coche de hidrógeno podía ser más seguro que uno de gasolina.

45 La industria militar también se está interesando en el hidrógeno, en todas las aplicaciones portátiles, estacionarias y de transporte. El mercado de defensa es menos sensible al coste que los mercados privados y puede proporcionar una excelente oportunidad para el desarrollo de la tecnología del hidrógeno.

Seguridad y Normativa

46 La extrema inflamabilidad del hidrógeno comporta una gran preocupación en su introducción como portador de energía de forma extendida y para unos consumidores que no han recibido un entrenamiento para su manejo seguro.

47 La experiencia demuestra que el mayor énfasis debe centrarse en la concentración del hidrógeno, en la detección de fugas y en la ventilación de las zonas aledañas.

48 Las instalaciones de hidrógeno y sus sistemas de seguridad tienen unas características propias. Algunos de ellos se enumeran a continuación

48.1 En general es preferible dispersar una fuga de hidrógeno lo más rápidamente posible.

48.2 Las tuberías y contenedores deben ser purgados con un gas inerte antes y después de haber usado hidrógeno en el equipo

48.3 Las aperturas y las válvulas de los tanques de almacenamiento de hidrógeno líquido pueden bloquearse por la acumulación de hielo formado de la humedad del aire.

48.4 Los tanques de almacenamiento se deben mantener sobrepresión para prevenir que el aire entre en ellos.

48.5 Hay que seleccionar cuidadosamente los materiales de tanques y contenedores de almacenamiento porque el hidrógeno tiende a fragilizar ciertos materiales; la interacción de los átomos de hidrógeno con redes cristalinas, aumenta la generación de roturas por corrosión y stress. Además el hidrógeno se difunde fácilmente a través de muchos materiales que se usan normalmente en tuberías y válvulas a través de agujeros que son lo suficientemente como para retener de forma segura otros gases.

48.6 Las aberturas de ventilación de las instalaciones deben situarse en techos o parte superior de paredes.

48.7 Eliminar cualquier fuente de ignición cerca de las instalaciones.

49 Pero el hidrógeno posee algunas propiedades que lo hacen más seguro que otros combustibles.

49.1 El hidrógeno no forma alfombras de fuego.

49.2 El calor radiante emitido por una llama de hidrógeno es diez veces menor al que emite una llama de hidrocarburos. Este hecho hace que disminuya el riesgo de incendios secundarios

49.3 Ante una fuga la zona de peligrosidad del hidrógeno es menor que la de metano o propano.

49.4 El hidrógeno no detona en una atmósfera abierta.

49.5 El hidrógeno no es explosivo, ni tóxico, ni radiactivo, ni cancerígeno.

49.6 El hidrógeno no contamina suelos o aguas, ni tampoco lo hacen los productos de su combustión.

50 La escasez de reglamentación y normativa relativa a las nuevas tecnologías referentes a hidrógeno supone una barrera para su introducción en el mercado. Entre los organismos que están trabajando en el desarrollo de normas se encuentran:

50.1 El Comité Técnico ISO/TC 197 perteneciente a la Organización Internacional de Estandarización (ISO) está desarrollando una serie de normas para el manejo del hidrógeno. Algunas de estas normas ya están completamente desarrolladas.

50.2 El IEC TC 105, perteneciente a la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC), que se encarga de la normalización de las células de combustible.

50.3 El EIHP, UN WP29 que normaliza los vehículos de hidrógeno.

50.4 El Hydrogen Codes & Standards Coordinating Committee (HCSCC) perteneciente al Departamento de Energía de los Estados Unidos (US DOE).

Reflexión final

La necesidad de unas tecnologías energéticas nuevas y sostenibles es un hecho en todos los sectores pero de forma especialmente urgente en el transporte. La emisiones de gases de efecto invernadero tienen que ser reducidas drásticamente en los próximos años. Es, por tanto, un reto convertir el sistema energético actual en uno libre de carbono tanto en su tecnología como en su infraestructura. El hidrógeno podría ser utilizado como una forma de almacenar la energía producida por las fuentes renovables

de energía. Un reto importante es también conseguir que la energética del hidrógeno sea rentable económica y energéticamente, tanto en la parte de almacenamiento, producción, distribución y aplicaciones. Se tendría que desarrollar una infraestructura adecuada al hidrógeno. Los prototipos de vehículos de células de combustible podrían entrar en el mercado en unos quince a veinte años. Además tiene que convertirse en una energía lo suficientemente segura como para que pueda ser manejada por usuarios no entrenados. El hidrógeno no es más peligroso que otros combustibles, es diferente. Actualmente se están llevando a cabo grandes investigaciones en torno a la energética del hidrógeno. En todos los ámbitos, a gran y a pequeña escala, con dinero público y privado. El desarrollo de una energética del hidrógeno está respaldada por dos grandes fuerzas, la seguridad energética y la problemática medioambiental. Sin embargo la mayoría de los estudios apuntan que las tecnologías relacionadas con el hidrógeno son, y lo seguirán siendo a corto plazo, ineficientes y costosas. E incapaces de soportar la demanda energética actual. El hidrógeno tiene el potencial de crear un sistema energético eficiente, limpio y sostenible en las próximas décadas. El factor más importante a mejorar a corto plazo es el desarrollo de mejores sistemas de almacenamiento del hidrógeno. Si se falla en esto se hará tambalear todo el sistema energético del hidrógeno. Es un factor necesario pero, obviamente, no suficiente. A largo plazo el hidrógeno se podría convertir en el elemento clave del sistema energético mundial. Las tecnologías del hidrógeno son especialmente interesantes en los países en vías de desarrollo que no tienen grandes infraestructuras energéticas. Pero para que este potencial se convierta en realidad, es necesario actuar rápidamente. A menos que se tomen las decisiones políticas adecuadas en los próximos años, España perderá el tren del hidrógeno hacia el progreso.

ANEXOS