

NOVEDADES EN CALDERAS

El propósito de este apunte es hacer un análisis del desarrollo tecnológico energético llevado a cabo durante los últimos años, poniendo de manifiesto el gran esfuerzo realizado en I+D en la Comunidad Económica Europea. El análisis se centra fundamentalmente en los combustibles sólidos y de modo especial en el carbón utilizado en calderas, pero se puede hacer extensivo a todos los combustibles fósiles y en cierto modo a todo el ámbito energético.

En casi todos los países se han llevado a cabo Estudios de Prospectiva de Gran Alcance, con la participación de los más variados, cualificados y objetivos expertos, pertenecientes a los diversos sectores de la producción, utilización, fabricación y servicios de todo tipo. Del análisis de los aludidos estudios de prospectiva se pone muy claramente de manifiesto que es de vital importancia persistir en el esfuerzo; si no tanto realizando nuevas demostraciones, sí aprovechando las existentes para el necesario perfeccionamiento de las tecnologías avanzadas. Lo que es contradictorio con la orientación dada a los nuevos planes, que no consideran el suficiente apoyo a la innovación industrial, y cuando lo hacen parecen centrarse en determinadas energías, ignorando en todo caso las claras conclusiones del estudio del WEC sobre “Energía Para el Mundo del Mañana” enunciadas en el Congreso de Sydney de septiembre de 2004, donde se enfatizó en la necesidad de considerar todas las energías, así como la exigencia de apoyar el desarrollo de las nuevas tecnologías hasta su eficaz introducción en el mercado.

Los Programas Europeos de Plantas de Demostración se remontan al año 1978, cuando las convocatorias se hacían independientemente, por fuentes de energía, sistema que se mantuvo hasta el año 1989. A partir de aquí se pasó a programas de plantas de demostración ó básicas denominados sucesivamente THERMIE, JOULE, JOULE/THERMIE, Programas Marco I a IV para el periodo 1998-2002, hasta el programa ENERGIE de 2005, sucesor del V Programa Marco, en el que se pone más énfasis en el medio ambiente y concretamente en el “efecto invernadero”.

Finalmente se ha pasado al VI Programa Marco, en vigor durante el periodo de 2002 a 2006, donde la energía solamente encuentra un estrecho margen de presencia dentro del subprograma de Desarrollo Sostenible, y casi exclusivamente para renovables, ignorándose el resto.

En el año 2005 estaban en construcción y/o evaluación un total de cincuenta y dos técnicas de perfeccionamiento de las cinco grandes tecnologías de las que existen demostraciones en Europa:

- ◆ **Combustión en Lecho Fluido Circulante (CLFC):** España, Francia, Alemania, 10 técnicas.
- ◆ **Combustión en Lecho Fluido a Presión (CLFP):** Suecia, España y Alemania, 14 técnicas.
- ◆ **Gasificación de Carbón Integrada en Ciclo Combinado (GICC):** España, Holanda, 14 técnicas.
- ◆ **Calderas Supercríticas y Ultrasupercríticas (CSC-CUSC):** Dinamarca, 7 técnicas.
- ◆ **Combustión de Carbón Pulverizado a Presión (CCPP):** Alemania, 7 técnicas.

Para cada una de las cinco grandes tecnologías se clasificaron las actuaciones o técnicas de mejora, en función de las opiniones de los expertos, como:

- ◆ Técnicas de contenido científico, de investigación y desarrollo (I+D): 20.
- ◆ Técnicas mayoritariamente de demostración (demo): 18.
- ◆ Técnicas principalmente de aplicación industrial (innovación): 9.
- ◆ Enjuiciamiento global de las cinco grandes tecnologías: 5.

A continuación se hace un desglose por tecnologías especificando las diferentes técnicas, indicándose algunas plantas de las distintas tecnologías en evaluación

Combustión en Lecho Fluido Circulante (CLFC)

Técnicas con mayor carácter de investigación y desarrollo:

- ◆ Investigación de nuevas técnicas de reducción de N_2O que aparece en mayor medida en la combustión en lecho fluido.
- ◆ Investigación de los nuevos modelos de flujo de gases en combustores de gran tamaño.
- ◆ Investigación del comportamiento del proceso de separación en los grandes ciclones.

Técnicas de mayor carácter demostrativo:

- ◆ Mejoras e incorporación de condiciones avanzadas de los ciclos de vapor y nuevos materiales para ciclos supercríticos.
- ◆ Manejo y nuevas utilidades de los nuevos residuos producidos, escorias y cenizas con nuevas composiciones y efectos.
- ◆ Co-combustión de mezclas de carbones, residuos y biomásas.
- ◆ Escalable hacia los 600 MWe, con reducción de riesgos tecnológicos y económicos.

Técnicas con carácter de aplicación industrial:

- ◆ Incorporación de sistemas de control de emisiones.
- ◆ Operación con diferentes clases de combustibles. Flexibilidad de combustible.

Recomendaciones:

- ◆ Sería muy conveniente aprovechar las plantas de demostración existentes para la prueba de todas las técnicas mencionadas.
- ◆ Las plantas de combustión en lecho fluido deben ser utilizadas para el aprovechamiento de combustibles de baja calidad, pero en condiciones medioambientales y económicas aceptables.

[] Combustión en Lecho Fluido Circulante (CLFC-CFBC), quemando una mezcla de residuos de mina de hasta un 65% de cenizas. HUNOSA, Asturias, España.

[] Combustible de diseño: residuos de mina; carbón bruto; desechos de madera.

[] Potencia nominal: 50 MWe.

[] Emisiones máximas: $SO_2 < 500 \text{ mg/m}^3$, $NO_x < 150 \text{ mg/m}^3$, $Partículas < 25 \text{ mg/m}^3$.

[] Planta de Demostración de Lecho Fluido Circulante (CLFC-CFBC) de Emile Huchet. Lorraine, Carling, Francia.

[] Potencia nominal: 125 MWe.

[] Propietario: Houilleres du Bassin de Lorraine.

[] El combustible utilizado son los residuos del lavado del carbón, con un contenido del 33% de humedad.

[] Resultados medioambientales:

◆ $\text{SO}_2 < 260 \text{ mg/m}^3 \text{ N (6\% O}_2\text{)}$.

◆ $\text{NO}_x < 200 \text{ mg/m}^3 \text{ N}$.

◆ $\text{Partículas} < 50 \text{ mg/m}^3 \text{ N}$.

[] Planta de CLFC-CFBC de 250 Mwe, utilizando carbón sin lavar y residuos de mina de Charbonnages de France, Gardanne, Francia.

[] Es hoy el mayor proyecto de CFBC, que ha sido escalado después de los buenos resultados de la planta de 125 MWe de Emile Huchet (Carling-Francia), hasta los 250 MWe de ésta.

[] Básicamente utilizan carbón de Gardanne, de alto contenido en azufre y cenizas, y como complemento también puede emplearse residuos de refinería con contenidos de 85% de carbón y de 4,5% a 5% de azufre.

[] Resultados medioambientales:

◆ Reducción de azufre: 93%, con un ratio Ca/S de 3,0.

Combustión en Lecho Fluido a Presión (CLFP)

Técnicas con mayor carácter de investigación y desarrollo:

- ◆ Desarrollo del sistema de Combustión en Lecho Fluido Circulante a Presión (CLFCP).
- ◆ Acciones tendentes a reducir los efectos de erosión del lecho.
- ◆ Mejora de las condiciones de las turbinas de gas.
- ◆ Limpieza y depuración de gases en caliente.

Técnicas de mayor carácter demostrativo:

- ◆ Desarrollo y demostración de ciclos híbridos a presión, con gasificación parcial.
- ◆ Introducción del concepto de condiciones supercríticas en los ciclos de vapor.
- ◆ Co-combustión de mezclas de carbones, residuos y biomásas.
- ◆ Operación con diferentes combustibles. Combustibles flexibles.
- ◆ Reducción de las emisiones de N_2O .
- ◆ Introducción de procedimientos adicionales para la reducción de emisiones en general, por ejemplo inyección de amoníaco.

- ◆ Demostración europea con una capacidad superior a los 100 MWe.

Técnicas con carácter de aplicación industrial:

- ◆ Ciclos Combinados con Gas Natural y CLFP.
- ◆ Manejo y nuevos usos de las nuevas escorias y cenizas.

Recomendaciones:

- ◆ Se recomienda aprovechar las plantas de demostración existentes para la prueba de todas las técnicas mencionadas.
- ◆ Se recomienda la instalación de una nueva demostración de Combustión en Lecho Fluido Circulante a Presión (CLFCP).

[] Planta de Demostración de Combustión en Lecho Fluido a Presión (CLFP-PFBC) ENDESA, en Escatron, Zaragoza, España [Ver Figura 1]:

[] Potencia nominal: 80 MWe.

Se ha pretendido demostrar la viabilidad de la utilización de combustibles de alto contenido de azufre y cenizas, en condiciones medioambientales aceptables y conseguir la reducción del 90% del azufre del combustible (conseguido el 95%), con un ratio de: [] Ca/S de 1,8 mediante absorción con caliza.

[] $\text{Nox} < 250 \text{ mg/m}^3 \text{ N}$.

[] $\text{Partículas} < 15 \text{ mg/m}^3 \text{ N}$.

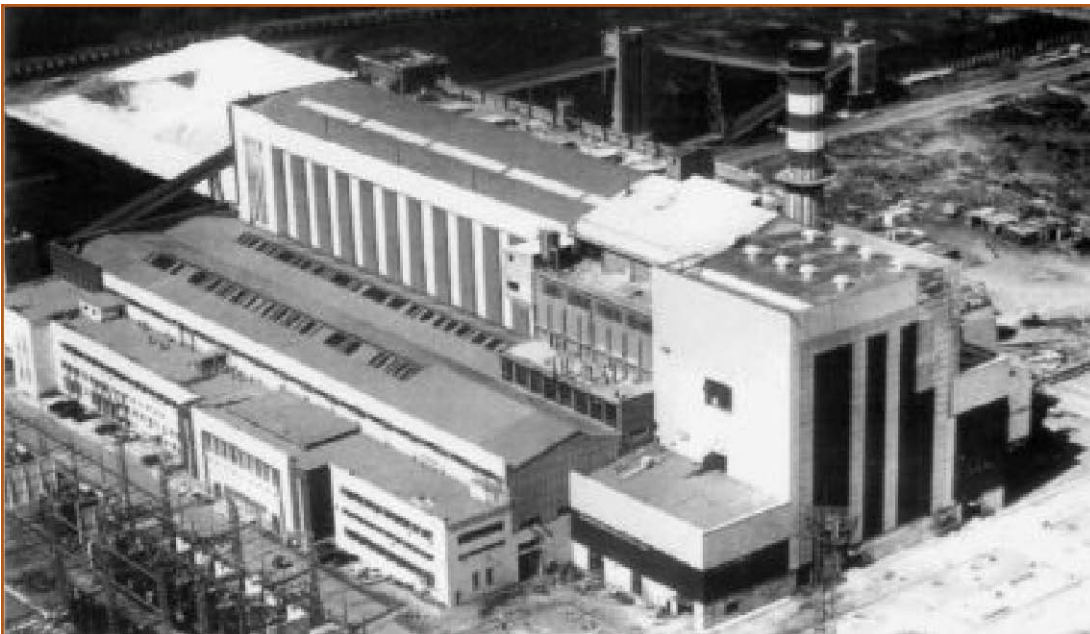


Figura 1. Planta de Demostración de Combustión en Lecho Fluido a Presión (CLFP-PFBC) en Escatron. ENDESA (Zaragoza)

[] Planta de Combustión en Lecho Fluido a Presión (PFBC) y Ciclo Combinado en Cottbus (Alemania) [Ver Figuras 3, 4]

Es una segunda generación de PFBC, después de Escatrón, para la cogeneración de

vapor, agua caliente, calefacción y electricidad, utilizando los lignitos alemanes de la zona y residuos municipales de los alrededores.

[] Potencia de 102 MWe (62ST + 40GT)

[] Resultados medioambientales :

◆ $\text{SO}_2 < 200 \text{ mg/m}^3 \text{ N.}$

◆ $\text{NO}_x < 200 \text{ mg/m}^3 \text{ N.}$

◆ $\text{Partículas} < 20 \text{ mg/m}^3 \text{ N.}$

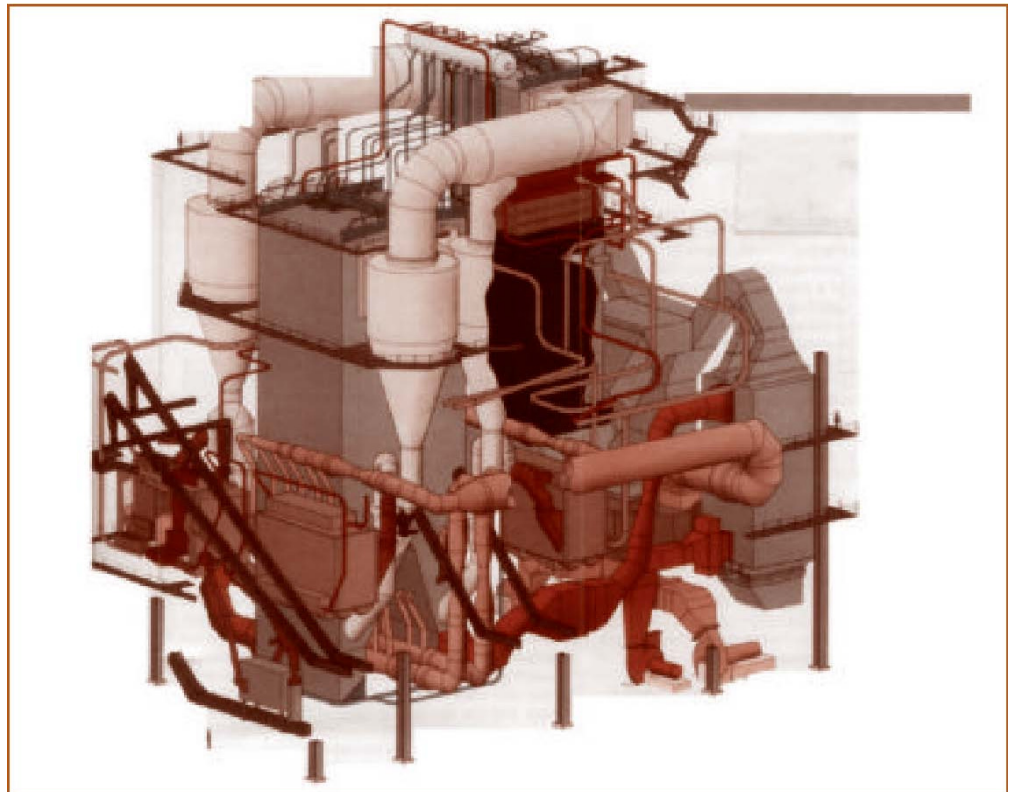


Figura 3. Planta de Combustión en Lecho Fluido a Presión (PFBC) y ciclo combinado en Cottbus (Alemania)



Figura 4. Planta de Combustión en Lecho Fluido a Presión (PFBC) y Ciclo Combinado en Cottbus (Alemania)

◆ Otros muchos proyectos de Uso Limpio del Carbón con Mezclas de Biomazas y Residuos han sido desarrollados. Algunos de los cuales se mencionan a continuación:

[] Experiencia a largo plazo para la co-combustión de mezclas de carbón y madera en una

planta de 635 MWe en la central térmica de Gelderland (Holanda). El objetivo es introducir en la caldera de carbón del orden de 60.000 toneladas de madera al año, con lo que se evitarían las emisiones de unas 110.000 toneladas de CO₂ anuales.

□ Caldera multicomcombustible de CLFC-CFBC (160 bar y 545°C), en una fábrica de pasta y papel en Oyj Wisaforest (Finlandia), donde se consigue una flexibilidad desde el 100% de carbón al 100% de madera, con una eficiencia global del 63%. Las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno son muy bajas debido a la adición de caliza en el lecho y la instalación de un sistema de SNCR. Las emisiones de NO_x son muy moderadas, de 30-50 mg/MJ, dándose la circunstancia de que son más bajas para carbón que para biomasa.

Gasificación del Carbón Integrada En Ciclo Combinado (GICC)

Técnicas con mayor carácter de investigación y desarrollo:

- ◆ Desarrollo de sistemas de limpieza física y química de gases en caliente.
- ◆ Incorporación de sistemas de humidificación de gases.
- ◆ Eliminación de partículas en seco.
- ◆ Mejora de las condiciones de flujo de la turbina de gas.
- ◆ Mejora del sistema recuperación de calor del gasificador.

Técnicas de mayor carácter demostrativo:

- ◆ Utilización de residuos en el flujo de alimentación.
- ◆ Mejora del proceso para superar la eficiencia del 55%.
- ◆ Medidas adicionales de reducción de emisiones de NO_x.

Técnicas con carácter de aplicación industrial:

- ◆ Recuperación de calor en la Unidad de Separación de Aire (USA).
- ◆ Secado previo del carbón.
- ◆ Nuevos sistemas de tratamiento de agua.
- ◆ Mejora integral del proceso de la USA.
- ◆ Simplificación del generador de vapor de recuperación de calor, tanto en el gasificador como en la turbina de gas.

Recomendaciones:

- ◆ La GICC tiene el mérito de ser la tecnología de uso del carbón más limpia y eficiente, con una reducción del 20% de las emisiones de CO₂, por lo que conviene perfeccionarla para que sea más económica.
- ◆ Esta tecnología necesita más de demostración que de aplicación industrial, pues todavía requiere inversiones muy elevadas y no es rentable.
- ◆ Es necesario aprovechar las plantas existentes para demostrar todas las técnicas de mejora posibles, con objeto de reducir el riesgo técnico y económico de esta importante tecnología.

[] Gasificación Subterránea del Carbón (UCG),

Instalación de Demostración de Gasificación Subterránea del Carbón (GSC-UCG). Teruel, España. Ver Figura 2. Esta Instalación planteaba el reto de llegar por primera vez hasta una profundidad de 600 m, participaron en el proyecto el Reino Unido, Bélgica y España. Se trató del primer Proyecto Objetivo Europeo.

[] Se constituyó la *European Association of Economic Interest* (AEIE), con el nombre de UGE (*Underground Gasification Europe*). El ITGE representaba a todos los participantes españoles colectivamente, mientras que UKAEA e IDGS eran los otros socios.

[] El objetivo último del proyecto era demostrar la viabilidad de la Gasificación Subterránea del Carbón a escala comercial, en los yacimientos típicos europeos de carbón, para la producción de gas, tanto para generación de electricidad como para posterior conversión. A este propósito se han definido dos posibles pruebas:

- ◆ **Test I**, a la profundidad de 600-700 m, que es lo que concierne al proyecto de Teruel (España).

- ◆ **Test II**, a la profundidad de 900-1000 m, posiblemente en el Reino Unido, aún por determinar.

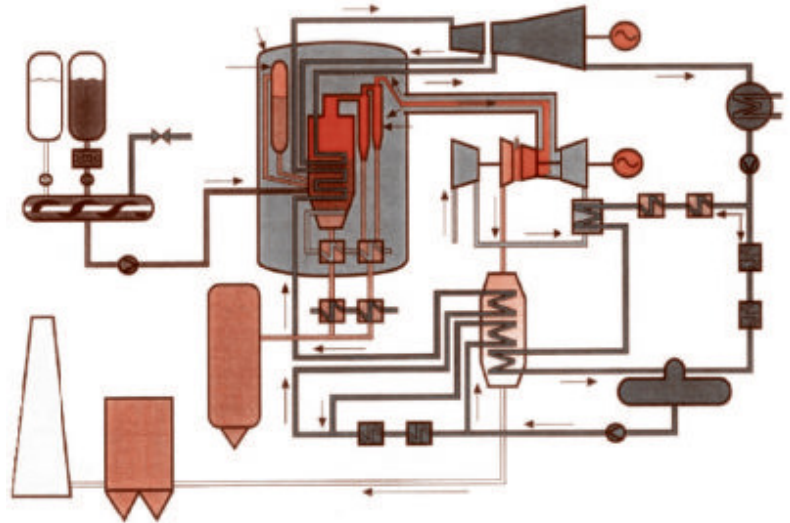


Figura N° 2. Instalación de Demostración de Gasificación Subterránea del Carbón (GSC-UCG). Teruel (España)

[] Proyecto de Gasificación de Carbón integrada en Ciclo Combinado (GICC-IGCC). Puertollano (Ciudad Real). ELCOGAS

Se trata de producir electricidad mediante gasificación en ciclo combinado de muy alta integración, de una mezcla de carbón con alto contenido en azufre y cenizas y coque de petróleo, al 50%. Cuyos resultados de eficiencia y medioambientales son muy satisfactorios:

[] Potencia nominal: 320 MWe (185 GT + 135 ST).

[] Rendimiento (PCI): 47,2% global, y 52,5% en CC.

[] Resultados medioambientales (6% O₂): Límite EU.

- ◆ SO_x < 25 mg/m³ N: 400.

- ◆ NO_x < 150 mg/m³ N: 650.

- ◆ CO₂: 80% sobre las plantas convencionales.

- ◆ Partículas < 7,5 mg/m³ N: 50.

- ◆ Residuos sólidos: Sin componentes peligrosos.

◆ Adicionalmente, el proyecto muestra condiciones muy favorables para capturar el CO₂.

□ En el área de Schwarze Pumpe, central supercrítica de lignito en las cercanías de Desden, Alemania, se aprovecharon antiguos gasificadores y se instalaron otros nuevos para la conversión de carbón y residuos orgánicos, urbanos y de todo tipo, en metanol y gas pobre. La nueva tecnología de gasificación es el sistema de soplado de oxígeno BGL, basado en el sistema denominado *Air Blowing Gasification System*, donde el carbón y los residuos son gasificados para uso en una turbina de gas, y el resto, coque de carbón es quemado en una caldera de CLF para producir vapor.

Otras instalaciones de gasificación de carbón, pero sin ciclo combinado son:

□ El denominado proyecto BIO-CO-COMB, en Zeltweg, Austria, difiere del de Gertruidenberg, Holanda, en que el producto de la gasificación se introduce en la zona de postcombustión de la caldera (*reburning*), de modo que de los 127 MWe de la misma, 29 proceden de la biomasa. El combustible orgánico utilizado es una mezcla de astillas, cortezas y serrín. La planta está funcionando desde 1997 y cumple perfectamente con los requisitos de Kioto.

□ La co-gasificación de residuos municipales con lignito en el denominado gasificador HTW (*High Temperature Winkler*), en Berrenrath, Alemania, ha dado lugar a la transformación de 1.000 toneladas de residuos sin problemas. Sin embargo la penetración en el mercado de Alemania está siendo muy difícil. Esta misma tecnología se está aplicando en el Japón, donde se están gasificando 20 t / d al 100% en una planta con HTW, con la característica específica de que se puede lograr un fácil enfriamiento de las cenizas, para su adecuada utilización en la industria de la construcción.

Calderas Ultrasupercríticas (CUSC)

Técnicas con mayor carácter de investigación y desarrollo:

- ◆ Sistema de desarrollo y pruebas de nuevos materiales.
- ◆ Uso de superaleaciones capaces de soportar las condiciones ultrasupercríticas del vapor.
- ◆ Planteamiento de los objetivos de 700 °C y 375 bar para alcanzar una eficiencia neta de entre 50% y 55%.

Técnicas de mayor carácter demostrativo:

- ◆ Utilización de los principios y conceptos de las condiciones USC de materiales avanzados y sus diseños especiales, para nuevos usos.
- ◆ Mejorar las limitaciones de las turbinas en condiciones supercríticas.
- ◆ Incorporación de nuevos diseños en la caldera que consideren tubos verticales y estriados.

Recomendaciones:

- ◆ Estas calderas están ya en el mercado, si bien en condiciones más suaves de las que se plantean ahora, y su sistema de funcionamiento y diseño son similares a los de las

plantas convencionales; pero el problema fundamental es el desarrollo de nuevos materiales.

□ El proyecto europeo más ambicioso, el AD700, es desarrollar un ciclo Ultra-Super-Crítico (USC), comenzado ya en 1998, con un periodo de desarrollo de casi 20 años. Participan alrededor de 40 empresas y centros de investigación más importantes de Europa. Se pretende demostrar la posibilidad de conseguir un ciclo USC con unas propiedades de vapor vivo y recalentado de 700 a 720 °C y una presión de 375 bar. La eficiencia alcanzaría del 52 al 55%, comparable con la conseguida por los actuales ciclos combinados. Es oportuno destacar la importancia que tiene en este proyecto el desarrollo de nuevos materiales, para lo que se están ensayando aleaciones especiales que permitan soportar las altas exigencias de presión y temperatura del ciclo.

Combustión de Carbón Pulverizado a Presión (CCPP)

Técnicas con mayor carácter de investigación y desarrollo:

- ◆ Optimización de la resistencia cerámica de las cenizas líquidas.
- ◆ Mejora de la separación de las escorias en el combustor de la caldera.
- ◆ Mejora de la separación de las escorias arrastradas por el flujo de gas, y evitar la contaminación producida.
- ◆ Operación continua del sistema de limpieza de gases en caliente.
- ◆ Medidas del flujo de gas en continuo.

Técnicas de mayor carácter demostrativo:

- ◆ Se requiere una planta de demostración de 20-50 MWe.

Recomendaciones:

- ◆ Esta tecnología podrá ser competitiva una vez que se resuelva el principal problema que le afecta, cual es la limpieza de gases en caliente, particularmente difícil en este proceso.

Resultados globales

Como resultados más relevantes, de mayoritaria coincidencia entre los expertos, y de mayor concordancia para las cinco tecnologías, se podrían señalar:

- ◆ Limpieza de gases en caliente.
- ◆ Co-combustión de mezclas de carbones.
- ◆ Co-combustión de carbones, residuos y biomásas.
- ◆ Co-combustión de coque de petróleo con carbones y biomásas.
- ◆ Procesos de combustión a presión.
- ◆ Diversas técnicas de mejora de eficiencia en general.
- ◆ Manejo y utilización de las nuevas escorias y cenizas.
- ◆ Nuevos materiales para condiciones supercríticas del vapor.
- ◆ Incorporación de las condiciones supercríticas a todos los sistemas de generación.

Desde otro punto de vista, en cuanto la optimización global de los recursos europeos, del consenso entre estos mismos expertos y otros, se ha llegado a la conclusión de que:

- ◆ Es necesario conseguir la reducción de los costos de inversión y medidas para salvar la distancia entre las actividades de I+D y la demostración, por lo que se recomienda aprovechar las plantas de demostración existentes para implementar los desarrollos mencionados.
- ◆ Es imprescindible mantener una cerrada colaboración entre empresas, entre centros de investigación, y entre empresas y centros de investigación, como vía idónea para sacar el mejor rendimiento de los siempre escasos medios disponibles.

En la medida en que fueron apareciendo nuevas tendencias, como el vector hidrógeno y las pilas de combustible, la captura y almacenamiento del CO₂, ambas favorecidas por la expansión de las plantas IGCC, se consideró de vital interés el establecer un programa de Prospectiva Tecnológica Energética, específico para combustibles fósiles, de ámbito paneuropeo.

Tecnologías de captura del CO₂

Teniendo en cuenta la estructura mundial de disponibilidad de reservas energéticas, es claro que corresponde al carbón un papel determinante en el próximo futuro, bien entendido que habrá de ser usado en condiciones medioambientales aceptables, para lo que es necesario resolver el problema de los gases de efecto invernadero, en nuestro caso concretamente las emisiones de CO₂. Se habla intensamente de las tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO₂ como solución inevitable para conseguir la utilización de las importantes e imprescindibles reservas de carbón. En una primera aproximación se podrían mencionar:

- ◆ Actuaciones en precombustión, con gasificación y separación previa del CO₂.
- ◆ Post-combustión, con separación del CO₂ por procedimientos de absorción, absorción, membranas, etc.
- ◆ Concentración de CO₂ durante la combustión mediante recirculación de gases y combustión con oxígeno enriquecido en atmósfera de CO₂: Oxi-combustión/Oxyfuel. Separación del CO₂ concentrado y almacenamiento del mismo.
- ◆ Como sistemas de almacenamiento se están analizando diversos procedimientos: aprovechamiento de campos explotados de petróleo y gas, aguas salinas subterráneas profundas, el fondo del mar, producción de hidratos, carbonatos minerales, solidificación, etc.

Combustión con oxígeno

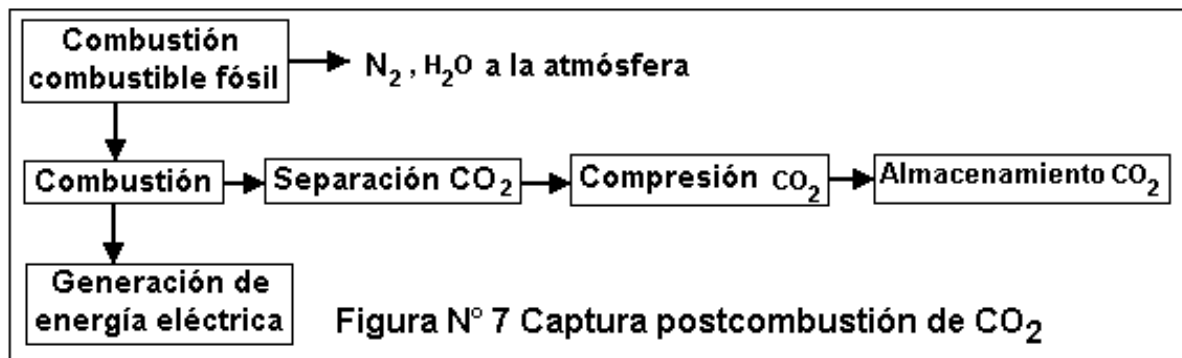
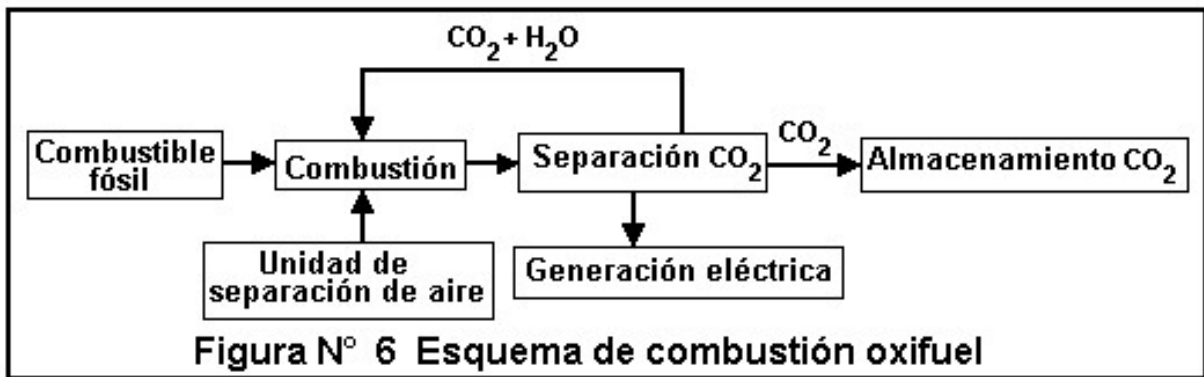
Para la instalación de una planta de combustión limpia de carbón puede optarse por el empleo de un sistema de combustión que emplea oxígeno en lugar de aire, denominado combustión oxyfuel, combinado con tecnologías de captura y secuestro de CO₂, como se muestra en la (Figura 6).

El uso de oxígeno en lugar de aire produce menor volumen de emisiones de gases, lo que

aumenta la eficiencia térmica del proceso, y disminuye las emisiones de CO_2 .

Aunque los hornos industriales han aumentado su eficiencia en los últimos años, las tecnologías de combustión con oxígeno enriquecido pueden mejorarla aún más. El empleo de oxígeno implica un descenso de producción de NO_x . Además, la combustión oxyfuel incrementa la temperatura de llama sin incrementar el coste del combustible. En consecuencia, la productividad puede incrementarse con una disminución de la energía utilizada hasta en un 50%. Los beneficios se resumen a continuación:

- ◆ Disminución del consumo de energía entre el 30% y 50%.
- ◆ Disminución de emisiones de NO_x hasta un 90%.
- ◆ Decremento de emisión de partículas entre el 30% y 70%.
- ◆ Eliminación de recuperadores de calor.
- ◆ Incremento de la producción entre el 10% y el 30%.
- ◆ Bajos costos de mantenimiento.
- ◆ Mejora la estabilidad de la temperatura, la transferencia de calor y el control.



Tecnologías de postcombustión

Estado actual de la tecnología (Ver Figura 7):

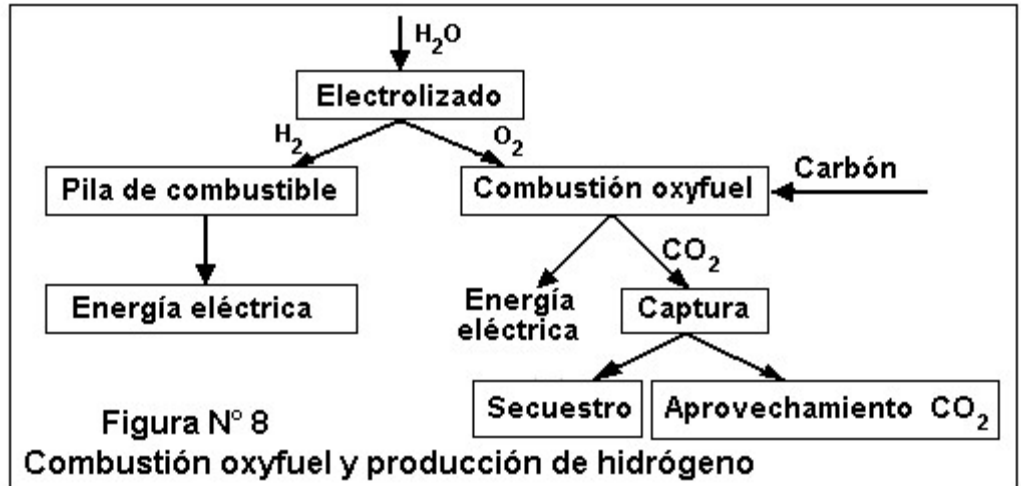
- ◆ Existen tecnologías como el lavado con aminas.
- ◆ Una mejora en los reactivos empleados podría reducir las pérdidas de energía. La degradación de los disolventes es un problema no resuelto.

- ◆ Es posible que se produzcan una reducción de costos similar a la conseguida por las desulfuraciones.

Posibles sinergias con otras tecnologías

El oxígeno que se emplea para la combustión habitualmente es generado a partir de la destilación fraccionada del aire líquido, realizado por mediación de las empresas gasistas. Se plantean nuevas opciones que combinan la combustión oxyfuel con producción de hidrógeno:

- ◆ Producción de hidrógeno y oxígeno a partir de la electrolisis del agua. El hidrógeno se emplearía como combustible de una pila, y el oxígeno que se genera, que normalmente se libera al ambiente, se emplearía en la combustión, (Ver Figura 8).



- ◆ Combinación de una actividad productora de CO₂, como puede ser el caso del reformado de un hidrocarburo con la combustión oxyfuel, de forma que se obtiene hidrógeno para pilas de combustible. Como en este proceso se produce CO₂, su captura se realiza junto a la producida con la combustión oxyfuel. Se obtiene energía eléctrica a partir de dos tecnologías distintas.

Reflexión actual en el ámbito de la Comisión Europea

Después de la puesta en marcha del Sexto Programa Marco (VI PM), donde se ha dado absoluta prioridad a las energías renovables, lo que desde luego es esencial, pero donde se ha puesto de manifiesto el total olvido de las energías convencionales y la contradicción que supone el hecho de que siga aumentando la proporción de las mismas en el aprovisionamiento energético de Europa y del mundo, se ha hecho necesario establecer una profunda reflexión para la más adecuada orientación del Séptimo Programa Marco (VII PM). Parece que finalmente se ha comprendido que la energía limpia no depende solamente de la fuente energética, sino de la tecnología que se aplique; de modo que con el desarrollo tecnológico adecuado, todas las energías pueden ser limpias mediante la solución técnica a los problemas medioambientales que todas las energías tienen.

Perspectiva del uso limpio de los combustibles en la UE

Europa se encuentra en plena fase de liberalización e integración de los mercados de electricidad y del gas, pero no se olvida que hay que velar por la seguridad del aprovisionamiento de esos mercados. De acuerdo con la estrategia de la estabilidad y la seguridad, la Comisión ha lanzado varias propuestas de normativa legal europea, en

particular:

◆ Un Paquete Hidrocarburos que contiene:

[] Una directiva sobre aproximación de las medidas de seguridad a los aprovisionamientos de productos petrolíferos.

[] Una directiva sobre las medidas para garantizar el aprovisionamiento del gas natural.

Y también:

◆ Un paquete sobre el planteamiento comunitario sobre la seguridad en las centrales nucleares y los residuos nucleares, concediéndose especial atención y gran importancia a los problemas de garantía y seguridad.

◆ Un Programa Europeo para el Cambio Climático, que comprende:

[] **La Directiva sobre el Comercio de Emisiones de CO₂**, que ha entrado en vigor en el año 2005, directiva que tendrá un impacto cierto sobre las fuentes de energía y sobre las tecnologías que intervienen en la producción de electricidad.

[] **La Unión Europea está firmemente decidida a cumplir los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluso aun cuando no se llegara a ratificar el Protocolo de Kioto.**

[] El objetivo de esta y otras propuestas es **decarbonizar** la cadena energética al mínimo coste. Pero si queremos decarbonizar la cadena energética y mantener la seguridad y la diversidad del aprovisionamiento energético, hay que favorecer la incorporación de las **tecnologías limpias**.

Una de las vías tecnológicas que gana terreno día a día es la decarbonización de los combustibles fósiles:

◆ Para la producción de electricidad e hidrógeno.

◆ Capturando y almacenando el CO₂ producido.

En este sentido, ELCOGAS es un proyecto ambicioso con clara proyección de futuro. La gasificación del carbón y de los residuos pesados de la destilación del petróleo es una fuente de producción de electricidad e hidrógeno y una vía prometedora para captar el CO₂.

Dentro del Programa Europeo para el Cambio Climático se han discutido diferentes procedimientos y tecnologías para la captura y almacenamiento del CO₂. El costo actual de la captura y almacenamiento de la tonelada de CO₂ en una central térmica se considera hoy en día de 50 Euros. El Sexto Programa Marco incluye una Red Temática y un Proyecto de Excelencia sobre la captura y almacenamiento de CO₂, cuyo objetivo es reducir el coste a 30 € / t. También se está considerando la posibilidad de integrar los esfuerzos con el Programa del Fondo de Investigación del Carbón y del Acero.

Es preciso dar el paso siguiente a la Tecnología de ELCOGAS, para lograr el objetivo del uso de los combustibles fósiles con emisiones bajas de CO₂, y quizás también pueda jugar un papel importante la tecnología de las centrales supercríticas. El Parlamento Europeo (PE), en su resolución sobre el Libro Verde de la Energía *Hacia una estrategia europea de*

seguridad del aprovisionamiento pide “una iniciativa **europaea** para el desarrollo de una **central térmica de carbón sin emisiones**”. En cuanto a la importante inversión necesaria es evidente que se requiere de la dimensión comunitaria para abordar el nuevo proyecto, con participación privada sí pero también con un importante apoyo público. La progresiva internalización de los costos externos medioambientales favorecerá el avance de las **tecnologías limpias** y la financiación de ambiciosos proyectos **innovadores**.

Las posibilidades de la tecnología GICC de ELCOGAS

Cuando se plantea el tema del incremento de la emisión de CO₂ y los métodos posibles para su control, no deja de haber un cierto escepticismo acerca de primero su efecto real sobre el medio ambiente, y, segundo, la eficacia de cualquier acción diferente a la de evitar su producción.

Respecto a lo primero, es necesario disminuir la emisión cuando los organismos e instituciones expertas en los efectos del cambio climático así lo concluyen, precisamente por la gran incertidumbre que existe acerca de su efecto real. Su argumentación es tan poderosa que ha conducido a que la mayoría de los países hayan firmado compromisos importantes para su reducción y control.

Respecto a lo segundo, lo obvio es no emitirlo, pero ¿cómo hacerlo cuando más del 80% de la energía que se consume procede de combustibles fósiles? Esto no será posible hasta que no se desarrollen métodos de producción de energía alternativos a los actuales con disponibilidad y economía suficiente.

Las energías renovables disponibles ahora no pueden ser las sustitutas de las energías como lo demuestra, entre otros hechos, el que España y Dinamarca sean dos de los países que más han invertido en ello en los últimos años, y sean los dos países de la CE que en mayor porcentaje están incumpliendo los compromisos del protocolo de Kioto. La disponibilidad de combustibles fósiles es de entre 40 y 60 años para el petróleo y el gas natural y de 200 a 300 años para el carbón, a los ritmos de consumo actuales. Estas existencias marcan el tiempo disponible para encontrar fuentes energéticas alternativas reales, y mientras es imprescindible desarrollar tecnología para disminuir en el corto y medio plazo las emisiones de CO₂ a la atmósfera antes de que su efecto pueda desestabilizar el equilibrio social y económico existente. Para ello sólo existen dos vías:

◆ **Aumento de eficiencia en su utilización.** Es una clara vía natural de mejora. Sustituyendo instalaciones existentes por otras con la mejor tecnología actual se podrían conseguir reducciones de emisiones de entre el 25 y el 50%. Esto es lo que se está haciendo aumentando la potencia instalada de Ciclos Combinados con Gas Natural (CCGN), confiando en el gas natural como el puente que se necesita. En esta vía, la tecnología de Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (GICC) tiene la ventaja de diversificar el origen de la energía al poder usar carbón para ciclos combinados en lugar de sólo gas natural, con lo que desde el punto de vista de sostenibilidad permitiría tener un auténtico puente de transición a otras tecnologías por descubrir, mitigando la debilidad del gas natural por su volatilidad en precios y reservas.

Pero con esta vía sólo, dadas las expectativas de incremento mundial del consumo, no sería suficiente.

□ **Captura y confinamiento estable del CO₂.** Es la única vía por la que se puede hablar de reducciones superiores a un 90% y por tanto, de auténtico control de los gases de

efecto invernadero procedentes de la producción de energía eléctrica.

Para disminución de los gases procedentes del transporte, la alternativa sería la implantación de la economía del H_2 en el transporte. Pero para producir H_2 también se genera CO_2 , si procede de combustibles fósiles.

Aquí es donde entra la importancia de la tecnología de Gasificación Integrada con Ciclo Combinado (GICC) (Ver Figura 9), ya que la captura del CO_2 se puede realizar por:

□ **Post-combustión.** Su coste estimado es del orden de 50 a 60 € / Tn, y su problemática se basa en el tratamiento del gran volumen de gases que es enviado a la chimenea después de la combustión en una caldera o turbina de gas.

□ **Pre-combustión.** Se basa en la gasificación a presión del combustible transformándolo en CO e H_2 , y a su vez el CO se transforma con vapor de agua en CO_2 y más H_2 . Separando estos dos gases se puede obtener CO_2 a una presión mucho mayor que en la post-combustión, con el consiguiente abaratamiento de su captura. Existen proyectos para demostrar su viabilidad a un costo de 10-20 € / Tn.

Lo adecuado de la tecnología GICC es que al diseño actual de las plantas sólo habría que añadir el módulo de conversión del CO a CO_2 e H_2 y el de separación de H_2 y CO_2 (ambos son de tecnología conocida y probada en la industria), entregando el CO_2 a un coste inferior para su confinamiento y el H_2 a la turbina de gas del ciclo combinado.

De esta forma, a la ventaja inherente al GICC en cuanto a una mayor eficiencia en la producción de energía eléctrica, se une la facilidad para separar el CO_2 de una forma económica, permitiendo, además, la diversificación en el uso del H_2 producido, que puede ser utilizado dependiendo de las condiciones del mercado como:

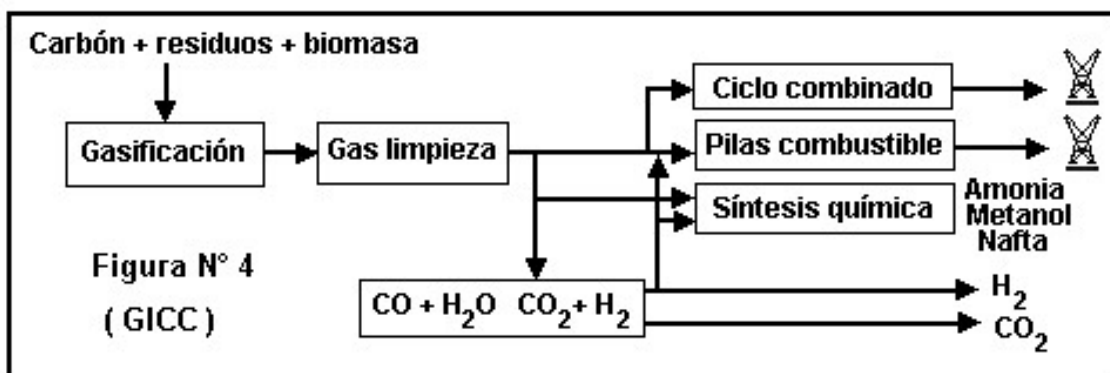


Figura 9. Gasificación Integrada con Ciclo Combinado (GICC)

- ◆ Combustible en la turbina de gas.
- ◆ Combustible en pilas de combustible. Incrementando la eficiencia de la instalación.
- ◆ Materia prima en la industria química.
- ◆ Combustible para estaciones de servicio de H_2 .

Resumiendo, la tecnología GICC:

- ◆ Es de las tecnologías existentes la de más fácil adaptación para producir electricidad con captura de CO₂ para su posterior confinamiento.
- ◆ La flexibilidad de la tecnología GICC en cuanto a combustible a usar y a productos finales, asegura un método eficaz de producir energía de una forma sostenible.

Sin embargo, deben considerarse otros aspectos:

- ◆ La tecnología no está absorbida en la industria actual por lo que se necesita un impulso de la iniciativa pública para que la iniciativa privada la asuma y la mejore.
- ◆ La contribución de la CE a las emisiones de CO₂ en los próximos años no representará más del 8% del total de las emisiones mundiales. Es necesario el dominio y promoción de esta tecnología para que su implantación lo sea en la mayoría de los países.
- ◆ La opinión pública, los gobiernos, deben asumir en el precio de la energía el sobreprecio asociado a la no emisión de CO₂. Mientras que esto no se haga efectivo, no se podrán realizar acciones realmente efectivas al respecto.

Conclusiones, consideraciones y recomendaciones

Un primer análisis de la reciente historia del desarrollo tecnológico energético pone de manifiesto el gran esfuerzo de I+D que se ha realizado, con el objeto de lograr un uso más limpio y eficiente de la energía, en todas las áreas energéticas y en todos los sectores de utilización, en todo el ámbito europeo, y de forma muy intensiva en España, acerca de las tecnologías de uso limpio y eficiente del carbón.

Ello ha permitido avanzar de forma muy considerable en la incorporación de las tecnologías avanzadas, a nivel de primera introducción en el mercado, o bien de su implantación experimental en la industria. Y lo que no es menos importante, ello ha permitido crear un clima de participación por parte de las empresas utilizadoras en el proceso de perfeccionamiento e innovación tecnológica de los sistemas energéticos, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental del uso de la misma, de tal modo que no se había conocido con anterioridad.

Si bien cuando ha llegado el momento preciso de dar el salto definitivo y acometer su verdadera incorporación al mercado, en términos de aplicaciones industriales comerciales de gran amplitud, para lo que aún se precisa de desarrollos que resuelvan los múltiples problemas que aun aparecen en la práctica, el proceso se detiene. Incluso algunas empresas desmontan sus departamentos de Innovación, por considerar que es una manera de reducir gastos ante una situación de liberalización del mercado. Como si el mercado libre fuera sinónimo de dejar el desarrollo propio en manos de otros, como si no fueran a pagar con creces los desarrollos que hagan "los otros" en el momento de adquirir los productos tecnológicos, y no sólo eso, sino que también correrán los riesgos de soportar en sus propias carnes las pruebas de los equipos aún no perfeccionados. Lo pagarán en dinero, en tiempo, en riesgos y en problemas de todo tipo, con la diferencia añadida de no intervenir en la participación de los beneficios.

Hay que buscar vías alternativas del mejor y más económico uso de la energía pero de todas las energías, que todas son necesarias, no polarizándose sólo el de algunas, por el

mal entendido calificativo de nuevas. Lo que es o debe ser nuevo es la tecnología, independientemente de que se primen algunas; pero nunca a costa de olvidar las otras. El viento se ha utilizado siempre (energía eólica), como la leña (biomasa), o el sol (energía fotovoltaica, por ejemplo), la hidráulica, etc. Todas estas son más viejas que el petróleo y el gas, e incluso que el carbón. **La alternativa a una energía no tiene que ser otra energía necesariamente, sino que la verdadera alternativa es la tecnología, las nuevas tecnologías, las tecnologías avanzadas que permitan un uso más eficiente, económico y limpio de la energía.** Se trata de volver a insistir en la idea de que todas las energías son necesarias y de que los apoyos al desarrollo deben ser proporcionales a su protagonismo.

Puede afirmarse que todas las energías son necesarias para satisfacer la previsible demanda energética, que todas tienen sus problemas medioambientales, que habrá que resolver; y que no se trata sólo de un asunto de tipo de energía, sino que el problema es principalmente de desarrollo tecnológico. No se trata tanto de un problema de energía como de tecnología. La solución vendrá pues por la disponibilidad de la tecnología adecuada para el uso limpio de la energía disponible.

Particularizando para el caso del carbón, es la energía de más amplia disponibilidad y uso, y lo seguirá siendo por muchos años, en todo el mundo, y en algunos países de forma mayoritaria e intensa. En cualquiera de los casos se requiere de nuevas tecnologías, lo que conlleva un esfuerzo muy importante, tanto más cuanto el carbón implica la superación de muchos problemas que no tienen otras energías, pero que todos son superables por la tecnología. El proceso de desarrollo es de gran inercia, por lo que aunque sea de forma selectiva hay que continuar, pues no pueden abandonarse los grandes y costosos logros alcanzados hasta el momento. No se corre mucho riesgo en decir que el carbón es la energía más adecuada, por cuanto es abundante y puede proporcionar toda la energía necesaria durante mucho tiempo; está geográficamente muy distribuida, por lo que ofrece mejores garantías de suministro que otras fuentes energéticas; desde el punto de vista del efecto invernadero tampoco es la de peores consecuencias, y además las tecnologías avanzadas de uso limpio ofrecen posibilidades económicas de captura y almacenamiento del dióxido de carbono.

Como conclusión final se puede afirmar que es necesario continuar con los desarrollos de las nuevas tecnologías del carbón y otros combustibles sólidos, como reto tecnológico para la garantía del suministro energético en cantidad y calidad medioambiental, de acuerdo con las tesis del libro verde de la energía, y de los nuevos planteamientos de la Comisión Europea.