

## INTRODUCCIÓN

### ¿Qué es la energía?

**Energía:** Es la capacidad de producir trabajo mecánico. Tiene diferentes formas. La generamos para poner en funcionamiento objetos que consideramos de interés para nuestro mundo actual, desde bombillas a coches. Durante tiempo hemos producido energía quemando leña, carbón, petróleo y gas: pero recientemente hemos empezado a valorar las energías alternativas.

### Importancia de la energía

Durante mucho tiempo, las únicas fuentes de energía han sido la fuerza muscular del hombre o de animales, y la fuerza del viento o de las aguas. En el siglo XVIII se añadió a estas el carbón, y en el siglo XIX el petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica; finalmente, en la segunda mitad del presente siglo, la energía nuclear. Las mayores o menores disponibilidades de energía determinan el desarrollo o estancamiento económico, aunque la cantidad de energía utilizada no está directamente en función de la cantidad de producción energética interna o de la presencia de yacimientos minerales, ya que el comercio internacional de materiales energéticos, sobre todo el petróleo, es muy importante. El índice de consumo energético por habitante permite establecer comparaciones de potencia económica y nivel de vida. La energía por habitante se expresa en TEC (tonelada de carbón equivalente), que es la unidad empleada para medir las distintas clases de energía.

### Componentes de una central térmica

Los elementos característicos de las centrales térmicas son:

- **El almacén de combustible:** si el combustible es carbón, la central dispone de un recinto para depositarlo y disponer de una reserva permanente. El carbón se tritura en forma de polvo fino para facilitar la combustión. Desde el Molino es enviado a los quemadores de la caldera mediante corrientes con aire caliente. En el caso del fuel, se almacena en grandes depósitos que tienen reserva cada uno o dos meses. El fuel se precalienta para que sea más líquido si se indirecta en los quemadores. Si se usa gas natural, que normalmente llega a la central en gaseoductos a alta presión, que queda mediante la estación de toda de presión, se adecua a las características del funcionamiento de los quemadores. Las centrales que están diseñadas para usar diferentes combustibles, por ejemplo carbón y gas natural, se llaman termoeléctricas mixtas.
- **La caldera:** hay muchos tipos de calderas. Las más usadas son las de la irradiación, llamados así porque la transmisión del calor es por irradiación. Las calderas tienen quemadores adecuados para el tipo de combustible que usan y una cámara de combustión rodeada de un tubo muy largo que da muchas vueltas en la caldera para que el agua se sobrecaliente, y por lo tanto y de unas temperaturas que oscilan entre los 300 y 400 grados centígrados. Y los de colonizadores y que declaren todos aprovechan de dictador residual de los gases emitidos para calentamiento previo del agua que alimenta la caldera, al combustible cuando es necesario.
- **Las turbinas:** son las máquinas motrices y transforman energía cinética del vapor de agua en energía cinética rotatoria para obtener el máximo rendimiento de la transformación esta formada por 3 etapas: alta, media y baja presión. El vapor a alta temperatura y presión procedente del sobrecalentamiento se introduce en la turbinas en el cuerpo de alta presión formados por centenares de pequeñas hélices. A medida que el vapor se expande y pierde presión, la dimensión de las hélices aumenta. De esta manera, las etapas de media presión es más grande que la de alta presión, si trabaja aún lo será más.
- **El condensador:** Sirve para aumentar el rendimiento termodinámico de la transformación. El agua

para vaporizar de a de entrar en la caldera en estado líquido. En el condensador, el vapor procedente de las turbinas se condensa antes de volver a entrar en la caldera para repetir el ciclo.

- **Torre de refrigeración:** sirve para enfriar el agua de refrigeración de el condensador. Los circuitos de refrigeración pueden ser abiertos o cerrados, en función de la disponibilidad del agua. En los circuitos cerrados y es imprescindible enfriar el agua para volverlas a usar. En la es abiertos, que usan el agua de un río, es necesario, para no o afectar a la fauna, que se devuelva al río el que la temperatura muy parecida a la del agua del río. Su funcionamiento es muy simple: se provoca una lluvia muy fina de agua para refrigeración todas que ofrezca una buena superficie de contacto con el aire que circula en sentido contrario.
- **Las chimeneas:** tienen la función de dar presión dentro de la caldera para que los gases desprendidos en la combustión y poderlos expulsa a la atmósfera. Pueden haber chimenea de tiro natural en que la circulación de los gases es provocada por la geometría de la propia chimenea, o de tiro forzado de cuando la circulación les ayuda mediante impulsos mecánicos. En función del combustible es usado disponen de registros más o menos sofisticados para eliminar el máximo número de partículas sólidas en suspensión de los elementos contaminantes antes de liberar los gases a la atmósfera posible.
- **Equipo eléctrico principal:** está formado por el alternador, los transformados y el parque de distribución.
- **Sala de tratamiento del agua de alimentación:** el agua usada que en la caldera es casi siempre agua natural que contiene diferentes sales minerales y gases disueltos. Estas sales se precipitan formando barro e incrustaciones en los tubos. El buen funcionamiento de la caldera depende en gran parte de la calidad del agua; por lo tanto, las centrales van equipadas, instalaciones de tratamiento de las aguas, que, con adición de sustancias químicas, contrarrestan las sales que contiene el agua y evitan el deterioro de los tubos. También se aumenta su PH se hará evitar el efecto corrosivo.

### **Funcionamiento de una central termoeléctrica**

Desde el recinto de almacenaje de del carbón, una cinta transportadora lo deposita en una "trémula " que alimenta al molino al molino, donde se convierte en un polvo muy fino que facilita su combustión. El polvo de carbón se mezcla con aire de calentado si sé y directa en los quemadores de la caldera, donde se produce la combustión.

El calor desprendido en la combustión calienta el agua de los tubos y produce el vapor, que en el calentador ser elimina la humedad y aumenta la temperatura; en estas condiciones se introduce a la turbina y de alta presión, a la media con un recalentamiento previo y a la de baja presión. El vapor se expande en los distintos cuerpos de la turbina y cede energía cinética al rotor de la turbina, que, al girar, arrastra el rotor del alternador donde se produce la energía eléctrica que, a través de los transformadores, el parque de distribución y las líneas de transporte, llega a los consumidores.

En la salida de las turbinas que el vapor pasa al condensador, se enfría y se condensa. El agua condensada se somete a distintas etapas de precalentamiento y se introduce en la caldera a través del economizador con todas condiciones de presión y temperatura más adecuadas para obtener un máximo rendimiento del ciclo.

El agua de refrigeración usada en el condensador cede el calor extraído de el condensador a la atmósfera mediante de las Torres de refrigeración.

Los gases de la combustión, al salir de la caldera aspirados por la chimenea, se usan para calentar el aire de la combustión, que con los precipitados se retiene la mayor parte posible de partículas sólidas contaminantes, y salen por la chimenea, que normalmente son de mucha altura para dispersar los contaminantes no eliminados a las capas altas de la atmósfera.

### **ENERGÍA NUCLEAR**

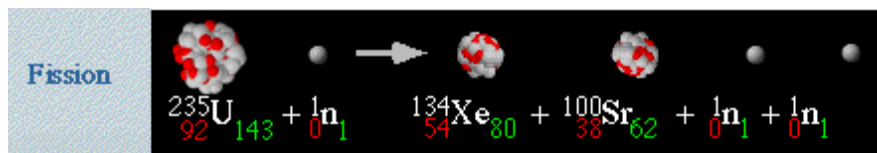
## Tipos de energía nuclear

Como hemos dicho antes, hay dos formas de obtener energía en un proceso nuclear:

### **FISIÓN:**

Es el utilizado actualmente en las centrales nucleares. Cuando un átomo pesado (como por ejemplo el Uranio o el Plutonio) se divide o rompe en dos átomos más ligeros, la suma de las masas de estos últimos átomos obtenidos, más la de los neutrones desprendidos es menor que la masa del átomo original, luego se verifica la fórmula de Albert Einstein  $E=mc^2$ , con lo que se desprende Energía. Para romper un átomo, se emplea un neutrón (ya que es neutro eléctricamente, y no es desviado de su trayectoria), que se lanza contra el átomo a romper, por ejemplo, Uranio. Al chocar el neutrón, el átomo de Uranio-235 se convierte en Uranio-236 durante un brevísimo espacio de tiempo, pues tiene un neutrón más que es el que ha chocado con él, siendo este último átomo sumamente inestable, dividiéndose en dos átomos diferentes y más ligeros que el Uranio-236 (por ejemplo Kriptón y Bario; o Xenon y Estroncio), desprendiendo 2 ó 3 neutrones (los neutrones desprendidos, dependen de los átomos obtenidos, nosotros tomamos como ejemplo 3 neutrones, pero puede que solo se desprendan 2. En caso de obtener Bario y Kriptón, se desprenden 3 neutrones; mientras que si se obtiene Xenon y estroncio, solo se liberan 2 neutrones), y liberando energía. Estos 3 neutrones, vuelven a chocar con otros 3 átomos de Uranio-235, liberando en total 9 neutrones, energía y otros dos átomos más ligeros, y así sucesivamente, generando de esta forma una reacción en cadena.

Como se puede comprobar, en cada reacción sucesiva, se rompen  $3n-1$  átomos, donde  $n$  es  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, ..$  reacción. De esta forma, donde más energía se libera es al final, ya que se rompen gran cantidad de átomos, según la relación  $3n-1$ , liberándose gran cantidad de energía.

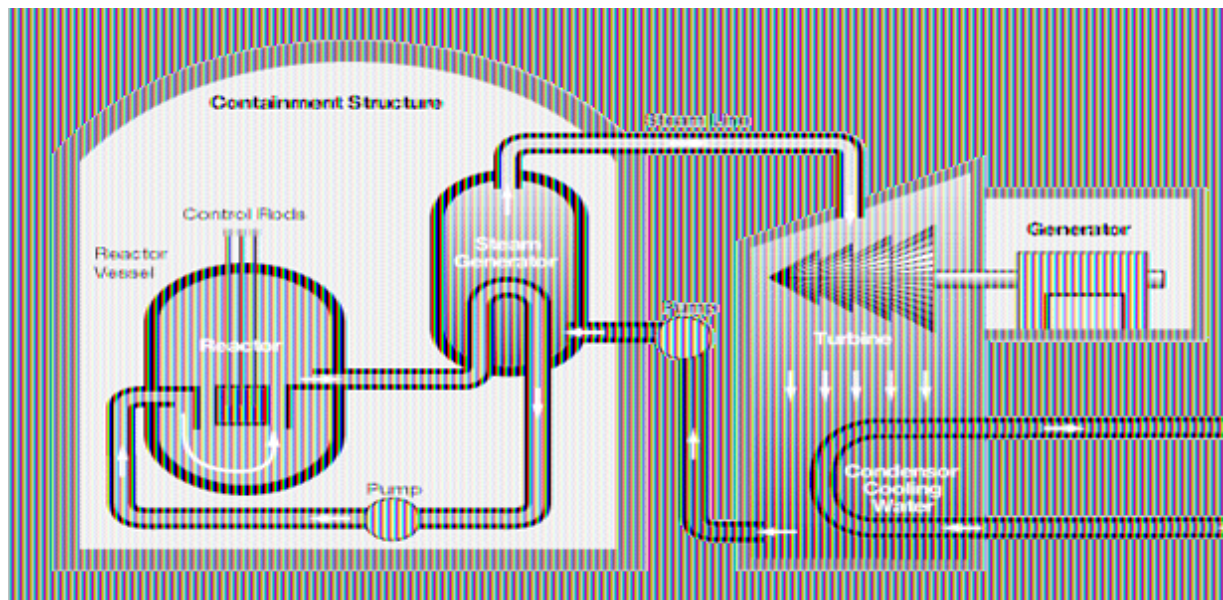


En las **centrales nucleares**, el proceso que se controla es el final, ya que en ellas, se genera energía de forma lenta, pues de lo contrario el reactor se convertiría en una bomba atómica, debido a que la mayor parte de la energía se libera al final, como hemos expuesto anteriormente. El proceso básico es el siguiente:

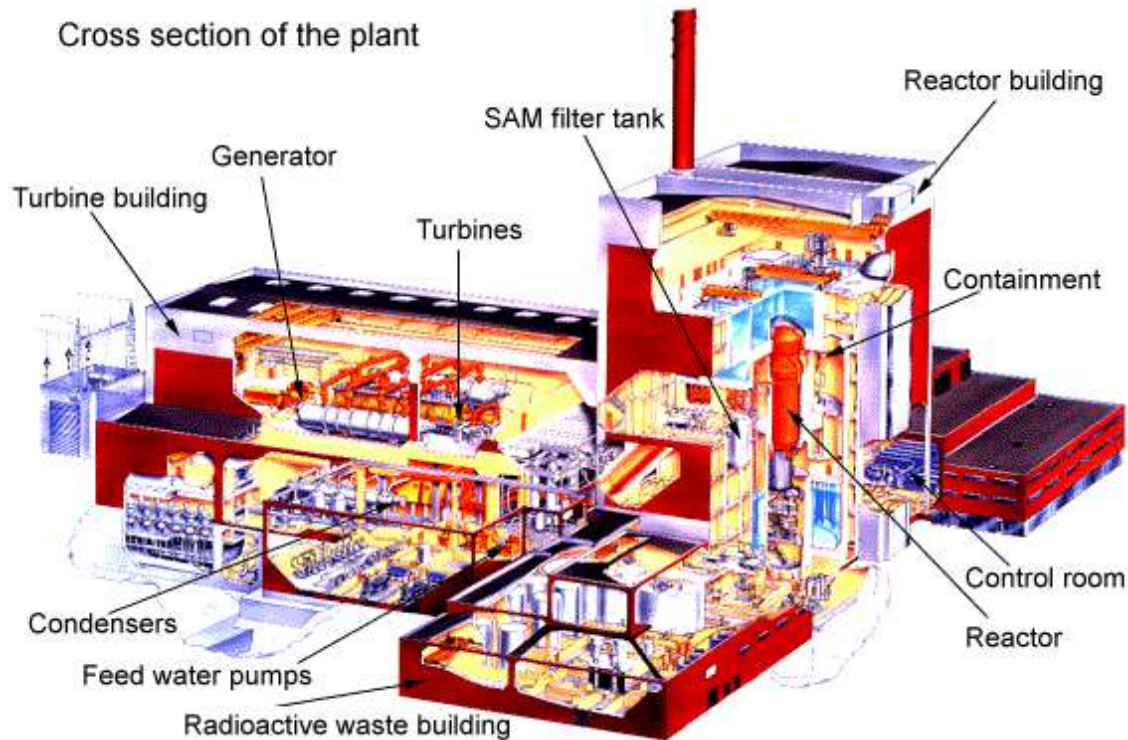
Las barras de Uranio enriquecido al 4% con Uranio-235, (recordamos que el Uranio natural es el U-238, y el que es fisionable es el U-235, que es un 0.71% del Uranio que se encuentra en la naturaleza, de ahí que solo un pequeño porcentaje del Uranio se aproveche y se requieran grandes cantidades de este para obtener una cantidad significativa de U-235. El U-238 no es fisionable, ya que es un átomo estable, y al romperlo, no habría diferencia de masa, y no se obtendría energía, cosa que con el U-235 sí se obtiene, al ser inestable.) se introducen en el reactor, y comienza un proceso de fisión. En el proceso, se desprende energía en forma de calor. Este calor, calienta unas tuberías de agua, y esta se convierte en vapor, que pasa por unas turbinas, haciéndolas girar. Estas a su vez, giran un generador eléctrico de una determinada potencia, generando así electricidad, al igual que con una dínamo de bicicleta, solo que estas turbinas y el generador, son muy grandes. Lógicamente, no se aprovecha toda la energía obtenida en la fisión, y se pierde parte de ella en calor, resistencia de los conductores, vaporización del agua, etc. Los neutrones son controlados para que no explote el reactor mediante unas barras de control (generalmente, de Carburo de Boro), que al introducirse, absorben

neutrones, y se disminuye el número de fisiones, con lo cual, dependiendo de cuántas barras de control se introduzcan, se generará más o menos energía. Normalmente, se introducen las barras de tal forma, que solo se produzca un neutrón por reacción de fisión, controlando de esta forma el proceso de fisión. Si todas las barras de control son introducidas, se absorben todos los neutrones, con lo cual se pararía el reactor. El reactor se refrigera, para que no se caliente demasiado, y funda las protecciones, convirtiéndose en una bomba atómica, incluso cuando este esté parado, ya que la radiación hace que el reactor permanezca caliente.

En el siguiente esquema, se muestra cómo trabaja una central nuclear, según lo explicado anteriormente:



Como curiosidad, en la fotografía de a continuación, aparece el plano de una central nuclear, que verifica el esquema anterior. Como se puede observar, una planta nuclear tiene más elementos de los que parece.



Más adelante, hablaremos de los peligros que representa actualmente la Fisión Nuclear (radiación, residuos, etc.), así como de los sistemas de seguridad mínimos que debe tener una central nuclear.

## FUSIÓN:

La fusión nuclear, está actualmente en líneas de investigación, debido a que todavía hoy no es un proceso viable, ya que se invierte más energía en el proceso para que se produzca la fusión, que la energía obtenida mediante este método.

La fusión, es un proceso natural en estrellas, produciéndose reacciones nucleares por fusión debido a la elevadísima temperatura de estas estrellas, que están compuestas principalmente por Hidrógeno y Helio. El hidrógeno, en condiciones normales de temperatura, se repele entre sí cuando intentas unirlos (fusionarlos) a otro átomo de hidrógeno, debido a su repulsión electrostática. Para vencer esta repulsión electrostática, el átomo de hidrógeno debe chocar violentamente contra otro átomo de hidrógeno, fusionándose, y dando lugar a Helio, que no es fusionable. La diferencia de masa entre el átomo obtenido y el original es mayor que en la fisión, liberándose así una gran cantidad de energía (muchísimo mayores que en la fisión). Estos choques violentos, se consiguen con una elevada temperatura, que excita los átomos de hidrógeno, y se mueven muy rápidamente, chocando unos contra otros.

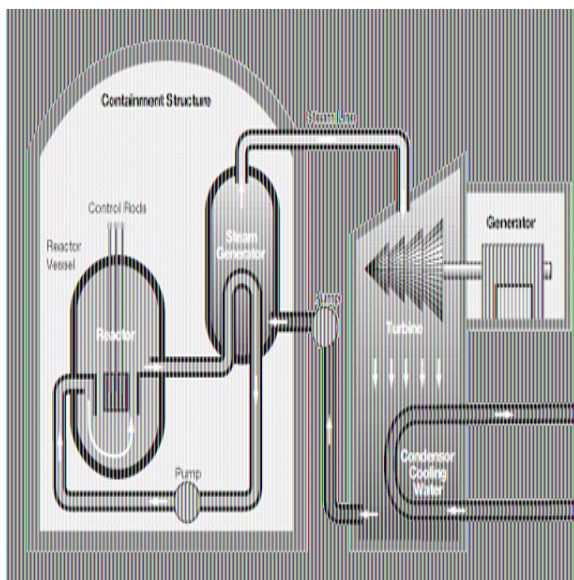
La primera reacción de fusión realizada por el ser humano, tuvo origen militar, con una bomba termonuclear (o también llamada bomba-H o de Hidrógeno), que para obtener la temperatura adecuada (casi la del Sol, unos 20 millones de grados centígrados), se utilizó una bomba atómica. Esta bomba termonuclear libera grandes cantidades de energía. Las bombas termonucleares actuales, alcanzan los 60 megatones (equivalente a 60 millones de toneladas de explosivo TNT), lo cual puede arrasar todo lo que haya en un radio de 40 ó 50 Kilómetros a la redonda, eso si incluir la radiación electromagnética y la onda expansiva, así como la lluvia ácida.

## Funcionamiento de una central nuclear

En las **centrales nucleares**, el proceso que se controla es el final, ya que en ellas, se genera energía de forma lenta, pues de lo contrario el reactor se convertiría en una bomba atómica, debido a que la mayor parte de la energía se libera al final, como hemos expuesto anteriormente. El proceso básico es el siguiente:

Las barras de Uranio enriquecido al 4% con Uranio-235, (recordamos que el Uranio natural es el U-238, y el que es fisionable es el U-235, que es un 0.71% del Uranio que se encuentra en la naturaleza, de ahí que solo un pequeño porcentaje del Uranio se aproveche y se requieran grandes cantidades de este para obtener una cantidad significativa de U-235. El U-238 no es fisionable, ya que es un átomo estable, y al romperlo, no habría diferencia de masa, y no se obtendría energía, cosa que con el U-235 sí se obtiene, al ser inestable.) se introducen en el reactor, y comienza un proceso de fisión. En el proceso, se desprende energía en forma de calor. Este calor, calienta unas tuberías de agua, y esta se convierte en vapor, que pasa por unas turbinas, haciéndolas girar. Estas a su vez, giran un generador eléctrico de una determinada potencia, generando así electricidad, al igual que con una dínamo de bicicleta, solo que estas turbinas y el generador, son muy grandes. Lógicamente, no se aprovecha toda la energía obtenida en la fisión, y se pierde parte de ella en calor, resistencia de los conductores, vaporización del agua, etc. Los neutrones son controlados para que no explote el reactor mediante unas barras de control (generalmente, de Carburo de Boro), que al introducirse, absorben neutrones, y se disminuye el número de fisiones, con lo cual, dependiendo de cuántas barras de control se introduzcan, se generará más o menos energía. Normalmente, se introducen las barras de tal forma, que solo se produzca un neutrón por reacción de fisión, controlando de esta forma el proceso de fisión. Si todas las barras de control son introducidas, se absorben todos los neutrones, con lo cual se pararía el reactor. El reactor se refrigera, para que no se caliente demasiado, y funda las protecciones, convirtiéndose en una bomba atómica, incluso cuando este esté parado, ya que la radiación hace que el reactor permanezca caliente.

En el siguiente esquema, se muestra cómo trabaja una central nuclear, según lo explicado anteriormente:



Como curiosidad, en la fotografía de a continuación, aparece el plano de una central nuclear, que verifica el esquema anterior. Como se puede observar, una planta nuclear tiene más elementos de los que parece.

### **Ventajas de la energía nuclear**

La energía nuclear, genera un tercio de la energía eléctrica que se produce en la Unión Europea, evitando así, la emisión de 700 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año a la atmósfera. Esta cifra equivale a que todos los coches que circulan por Europa, unos 200 millones, se retiren de las calles. A escala mundial, en 1.996, se evitó la emisión de 2,33 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, gracias a la energía nuclear.

Por otra parte, también se evitan otras emisiones de elementos contaminantes que se generan en el uso de combustibles fósiles. Tomemos como ejemplo, la central nuclear española Santa María de Garoña, que ha evitado que se descargue a la atmósfera 90 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, 312.000 toneladas de NO<sub>x</sub>, 650.000 toneladas de SO<sub>2</sub>, así como 170.000 toneladas de cenizas, que contienen a su vez más de 5.200 toneladas de arsénico, cadmio, mercurio y plomo.

Los vertidos de las centrales nucleares al exterior, se pueden clasificar como mínimos, y proceden, en forma gaseosa de la chimenea de la central, pero se expulsan grandes cantidades de aire, y poca de radiactividad; y en forma líquida, a través del canal de descarga.

Por su bajo poder contaminante, las centrales nucleares, frenan la lluvia ácida, y la acumulación de residuos tóxicos en el medio ambiente. Como dato: una central nuclear no puede verter a la atmósfera más de 3 curios/año, según la normativa vigente (1 CURIO = 37.000 millones de desintegraciones por segundo = radiactividad de 1 gramo de Radio).

Además, se reducen el consumo de las reservas de combustibles fósiles, generando con muy poca cantidad de combustible (Uranio) muchísima mayor energía, evitando así gastos en transportes, residuos, etc.

### **CONSUMOS Y RESIDUOS DE URANIO, CARBÓN Y FUEL-OIL PARA UNA CENTRAL TIPO 1.000 MW**

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>CARBÓN</b>	<b>FUEL-OIL</b>	<b>NUCLEAR</b>
Consumo medio por Kw/hora	380 gr.	230 gr.	4,12 mg. Uranio
Consumo Anual	2,5 millones de toneladas	1,52 millones de toneladas	27,2 toneladas
Transporte anual	66 barcos de 35.000 toneladas o 23.000 vagones de 100 toneladas	5 petroleros de 300.000 toneladas + oleoductos	3 ó 4 camiones
CO <sub>2</sub> , millones de toneladas	7,8	4,7	cero
SO <sub>2</sub> , toneladas	39.800	91.000	cero
NO <sub>2</sub> , toneladas	9.450	6.400	cero
Cenizas de filtros, toneladas	6.000	1.650	cero
Escorias, toneladas	69.000	despreciables	cero
Cenizas volantes, toneladas	377.000	cero	cero
Radiación: gases, Curios/año	0,02 - 6	0,001	1,85

Radiación: líquido, Curios/año	cero	cero	0,1
Radiación: sólidos	despreciable	cero	13,5 m3,(alta) 493 m3, (media y baja)

**Fuente de la tabla: Nucleonor**

### **Peligros de la Energía Nuclear:**

Actualmente, la industria nuclear de fisión, presenta varios peligros, que por ahora no tienen una rápida solución. Estos peligros, podrían llegar a tener una gran repercusión en el medio ambiente y en los seres vivos si son liberados a la atmósfera, o vertidos sobre el medio ambiente, llegando incluso a producir la muerte, y condenar a las generaciones venideras con mutaciones... Por ello, a las centrales nucleares se les exige unas grandes medidas de seguridad, que puedan evitar estos incidentes, aunque a veces, pueden llegar a ser insuficientes (Chernobil), debido a que se intenta ahorrar dinero en la construcción, y solo se pone una seguridad mínima.

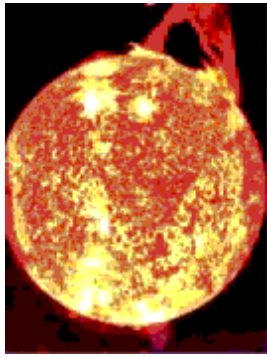
Los peligros más importantes, son entre otros, la radiación y el constante riesgo de una posible explosión nuclear, aunque este último es muy improbable con los actuales sistemas de seguridad de las centrales nucleares. Nos centraremos principalmente en la radiación, por ser el más representativo, debido a que las explosiones son muy improbables.

La **radiactividad**, es la propiedad en virtud de la cual algunos elementos que se encuentran en la naturaleza, como el Uranio, se transforman, por emisión de partículas alfa (núcleos de Helio), beta (electrones), gamma (fotones), en otros elementos nuevos, que pueden ser o no, a su vez, radiactivos. La radiactividad es por tanto, un fenómeno natural al que el hombre ha estado siempre expuesto, aunque también están las radiaciones artificiales. Así pues, diferenciamos dos casos; radiación natural y radiación artificial:

### **RADIACIÓN NATURAL:**

Siempre ha existido, ya que procede de las materias existentes en todo el universo, y puede ser radiación visible (como por ejemplo la luz), o invisible (por ejemplo los rayos ultravioleta). Esta radiación, procede de las radiaciones cósmicas del espacio exterior (Sol y estrellas), pues ellos son gigantescos reactores nucleares, aunque lejanos; también proceden estas radiaciones de los elementos naturales radiactivos (uranio, torio, radio) que existen de forma natural en el aire, agua, alimentos, o el propio cuerpo humano (potasio, carbono-14). Esta radiación natural, es del orden del 88% de la radiación total recibida por el ser humano, clasificándose de la siguiente manera:

- Radiación cósmica : 15 %
- Radiación de alimentos, bebidas, etc.,: 17 %
- Radiación de elementos naturales : 56 %



## RADIACIÓN ARTIFICIAL:

Proviene de fuentes creadas por el hombre. Los televisores o los aparatos utilizados para hacer radiografías médicas son las fuentes más comunes de las que recibimos radiación artificial. La generada en las centrales nucleares, pertenece a este grupo. El incremento de radiación que recibe una persona en un año como consecuencia del funcionamiento normal de una central nuclear, es de 1 milirem al año (1 **REM** = radiación de rayos gamma existente en el aire por centímetro cúbico de aire), cantidad que es 100 veces más pequeña que la radiación natural que recibimos en España. La radiación artificial total recibida por el ser humano es del orden del 12% de todas las radiaciones recibidas. Se clasifica de la siguiente manera:

- Televisores y aparatos domésticos: 0.2 %
- Centrales nucleares : 0.1 %
- Radiografías médicas : 11.7 %

Como es bien sabido, la radiación de los elementos trae serias consecuencias en los seres vivos, si sobrepasan los límites anuales de radiación normal. La consecuencia más importante es la mutación en los seres vivos, ya que afecta a las generaciones tanto presentes, como futuras, y sus efectos irían desde la falta de miembros corporales y malformaciones en fetos, esterilidad, ..., hasta la muerte. Por tanto, es importante que los residuos de las centrales nucleares, que son radiactivos, cumplan unas medidas de seguridad, para que no surjan posibles accidentes de fugas de radiación.

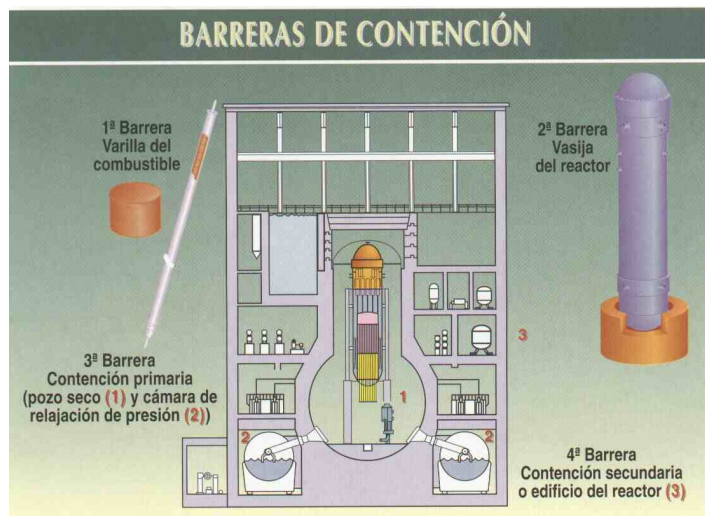
Debido a este importante factor de riesgo, las centrales nucleares, deben tener una serie de protecciones para prevenir un posible desastre, que tuviera fugas radiactivas al exterior. La **seguridad y protección radiológica** que ofrecen las centrales nucleares, son:

– <b>Varilla de combustible:</b>	Tubos con aleación de Circonio en cuyo interior se encuentra el Uranio.
– <b>Vasija del reactor :</b>	Recipiente cilíndrico de acero al carbono, recubierto interiormente de acero inoxidable, de 12.5 centímetros de espesor, con 18.5 metros de altura y 4.77 metros de diámetro. En su interior, se encuentra el núcleo del reactor, donde se obtiene el vapor que mueve la turbina.
– <b>Edificio del reactor :</b>	Es una estructura de hormigón armado de 1 metro de espesor y 55 metros de altura (12 de ellos, bajo tierra). Está diseñado para soportar las condiciones del mayor accidente posible.

En caso de emergencia, se activarían los siguientes **Sistemas de emergencia**. Se activan al romperse la tubería de refrigeración, y es un sistema autónomo automático, y se compone de:

– <b>Inyección del Refrigerante a alta presión :</b>	Inyecta refrigerante al interior de la vasija, justo encima del combustible.
– <b>Rociado del núcleo</b>	
– <b>Inyección de refrigerante a baja presión :</b>	Inyectan refrigerante a la vasija, inundando el núcleo.
– <b>Sistema automático de alivio de presión :</b>	Impide la presurización de la vasija por encima de los valores operacionales.
– <b>Condensador de aislamiento :</b>	Enfría el vapor existente en la vasija.
– <b>Inserción de las barras de control :</b>	Al insertarlas, se para totalmente el reactor.

En el siguiente esquema, se muestran las barreras de contención de una central nuclear. Se puede observar de igual manera los sistemas de seguridad con los que cuentan las centrales nucleares.



Además de estos sistemas de emergencia, las centrales nucleares, también cuentan con detectores de incendios, fugas de radiación, y extintores adicionales.

Como hemos visto, las centrales nucleares, cuentan con grandes medidas de seguridad, pero la cosa no termina aquí, ya que estas centrales generan unos residuos radiactivos muy perjudiciales para los seres vivos, y el medio ambiente, por lo que deben ser tratados adecuadamente.

Se clasifican de la siguiente forma:

– **Alta actividad:**

Proceden de los elementos de combustible gastados, que se extraen del reactor, y se almacenan temporalmente en una piscina de agua, situada dentro de la central nuclear, y construida de hormigón, con paredes de acero inoxidable, de tal forma que no se escape la radiación. Una vez que la piscina se llena (que puede tardar décadas), los residuos se sacan de la piscina, y se almacenan bajo tierra, profundamente, en minas excavadas, con formaciones salinas para mantenerlo aislado de la humedad, y metidos en bidones blindados con material anticorrosivo. Este es el lugar definitivo, donde se guardarán durante cientos o incluso miles de años.

– **Media actividad:**

Son generados por radionucleidos liberados en el proceso de fisión en cantidades muy pequeñas, muy inferiores a las consideradas peligrosas para la seguridad y protección de las personas.

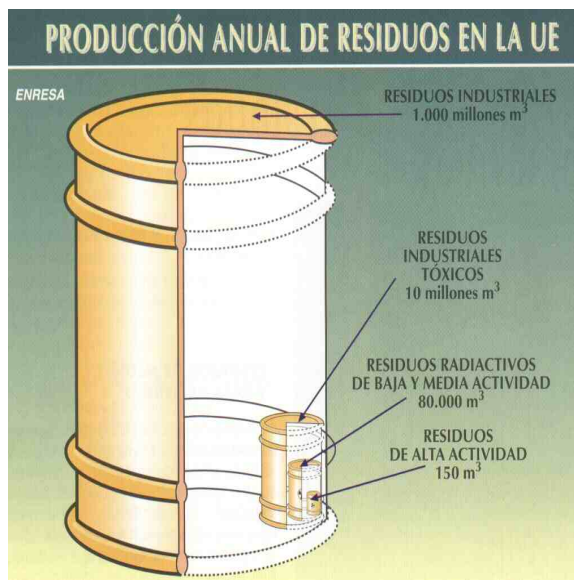
Los residuos son solidificados dentro de bidones de acero, utilizando cemento, alquitrán o resinas.

#### – Baja actividad:

Generalmente, son las ropas y herramientas que se utilizan en el mantenimiento de la central nuclear.

Se prensan, y se mezclan con hormigón, de forma que formen un bloque sólido, son introducidos en bidones de acero. Después, estos bidones, al igual que los de *media actividad*, son trasladados al *Centro de almacenamiento de El Cabril*, en la provincia de Córdoba, en el caso de España.

Como se puede comprobar, las medidas de seguridad para prevenir posibles fugas radiactivas, son muy altas, evitando así, que se produzca un accidente radiactivo. La radiación liberada, es por tanto muy baja, prácticamente nula.



### LAS CENTRALES DE GAS CON CICLO COMBINADO

Cualquiera que se moleste en estudiar la historia de las centrales de producción de electricidad del sistema peninsular(1) verá que fueron construidas en sucesivas oleadas. Desde el final de la guerra civil se inició la construcción de los saltos hidroeléctricos con la imagen de Franco siempre presente en las inauguraciones, luego vino la época de las plantas de fuel-oil en los 60 y primeros 70, después la de las nucleares que ocuparon los 70 y primeros 80 y finalmente la de cogeneración con proyectos que se han ejecutado durante el final del siglo(2). Parece que el inicio del siglo XXI estará marcado por los proyectos de las centrales de gas en ciclo combinado. Con este nombre se conocen las centrales que utilizan gas natural como combustible y que para generar electricidad emplean la tradicional turbina de vapor y una turbina de gas que aprovecha la energía de los gases de escape de la combustión. Con ello se consiguen rendimientos termoeléctricos del orden del 55%, muy superiores al de las plantas convencionales.

Este elevado rendimiento es uno de los factores que explican el interés de las compañías por la construcción de dichas plantas, pero hay otros. El primero de ellos es el relativamente reducido coste de instalación que se sitúa entre 50–70 millones de pta./MW, muy inferior al de las centrales nucleares que puede ser 8–10 veces mayor y al de las instalaciones eólicas que están entre 120–150 millones/MW. En estrecha relación con lo anterior están los cortos períodos de duración de las obras, aproximadamente tres años. Un segundo factor es

el precio de la materia prima, que, aunque fluctuante como la última crisis del petróleo ha demostrado, es barato: del orden de 2 pta./termia(3). A ello hay que unir la alta disponibilidad de estas centrales que pueden funcionar sin problemas durante 6.500–7500 horas equivalentes al año(4). Todo ello se traduce en unos precios de producción del kWh mucho menores que los de las demás centrales termoeléctricas del sistema peninsular. En un marco de "oferta competitiva", donde la electricidad se adquiere a quien la produce más barata pero se retribuye en función de la oferta más cara de las necesarias para cubrir la demanda, esto se traduce en unos elevados márgenes de beneficio que permiten amortizar la planta en tiempos muy cortos y entrar rápidamente en período de beneficios. Además el grueso de los costes son variables por lo que, de no ser necesario el funcionamiento de la planta, no se incurre en ellos.

La explicación de porque no se había acometido antes la construcción de estas plantas está en el hecho de que se trata de una tecnología relativamente reciente y en que en nuestro país la infraestructura gasista estaba en mantillas. En parte debido a la distancia de los centros de producción europeos de gas natural (Noruega, Reino Unido y en menor medida Holanda) y en parte a decisiones políticas del pasado en el que primó el recelo sobre los suministradores africanos más próximos (Libia y sobre todo Argelia), bajo regímenes que no ofrecían garantías a nuestros gobernantes. En los últimos años ha aumentado mucho el suministro de otros países como Nigeria, Trinidad y Tobago, Abu-dhabi, Qatar.... La construcción de los gasoductos de unión con Europa (por los Pirineos), y la conexión a través del estrecho con Argelia, así como el crecimiento acelerado de la red de gasoductos peninsulares, han convertido al gas en la materia energética con mayor crecimiento en los últimos años. Si en 1985 se consumieron 23 millardos de termias–109 termias– en nuestro país, en 1999 se superaron los 150 millardos. De esta cantidad sólo porciones menores se usaban en centrales de producción de electricidad con capacidad para quemar distintos tipos de combustibles llegándose en 1999 a la cifra récord de 6,6 millardos de termias. El resto se emplea en el sector doméstico, comercial y sobre todo industrial. El número de municipios abastecidos con gas pasó de 103 en 1980 a 876 en 1999.

No debe olvidarse que, si bien cuando se promulgó la Ley de hidrocarburos (Ley 34/1998 de 7.2 de Octubre) se configuró una situación paradójica de cuasi-monopolio del gas en manos de una empresa privada (Gas Natural), desde Junio del 2000 el marco legal ha cambiado. El Decreto–Ley 6/2000 establece que el gestor técnico del sistema gasista pasa a ser ENAGAS (antigua filial de Gas Natural) en el que se limita al 35% la participación de cualquier compañía. Un esquema muy parecido al que venía rigiendo en el sector de los restantes hidrocarburos. Se pretende con ello facilitar la competencia en dicho sector.

### **Los impactos en el medioambiente**

Estas centrales suelen presentarse como tecnologías limpias debido a la reducción de las emisiones de contaminantes que en ellas se consiguen. Se alude en primer término al vertido casi nulo de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) debido a que este elemento (S) es prácticamente inexistente en el gas natural. Y se insiste mucho en las reducciones que comportaba en las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por kWh producido(5), con el consiguiente alivio del efecto invernadero. Se omite señalar que nuestro país ya superó en el año 1999 los límites fijados para el 2010! por el compromiso firmado en Kioto de emisión de gases de invernadero, y que la producción de electricidad ha sido y muy probablemente seguirá siendo uno de los responsables de este crecimiento.

Este crecimiento desbocado se ha debido en buena medida a la fuerte reducción de los precios de la electricidad. Desde 1996 dichos precios han bajado en términos reales más del 23% en los clientes sometidos a tarifa (pequeños consumidores) y más del 28% para los que negocian directamente el precio del kWh. Debido a dicho abaratamiento y a la existencia de una etapa de fuerte crecimiento económico la demanda de electricidad ha crecido a tasas de más del 6% en este período. Algo desconocido desde los 70. Un objetivo político de primer orden del gobierno ha sido trasladar a los precios finales de la energía la profunda reducción que se había operado en los costes. Con ello reducía de forma significativa la inflación y ganaba votos. El "único" problema ha sido el aumento desbocado de los impactos ambientales. Y por supuesto de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ello, aunque se produjera un proceso de sustitución acelerada de centrales de carbón

por grupos de gas en ciclo combinado, el crecimiento de la demanda pasada y previsiblemente futura—superaría al efecto combinado de mejora de la eficiencia y sustitución de combustibles. Las emisiones no se contienen.

No deben ignorarse tampoco, por su contribución al cambio climático, las fugas accidentales de metano (CH<sub>4</sub>, componente casi exclusivo del gas natural) cuyo potencial de calentamiento a 20 años es 56 veces mayor que el de una cantidad igual de CO<sub>2</sub>. Según el IPCC (Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático) la tasa de aumento anual de este gas es del 0,6% y es responsable, aproximadamente, del 16% del calentamiento terrestre actual.

Comentar que se compeadece mal las previsiones de reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> en casi un 24% en el 2010 con respecto a 1990, como preveía el Consejo Nacional del Clima, con la idea de aumentar mucho la red de gasoductos en nuestro país.

Un balance similar ofrecen las emisiones de óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Estas sustancias son componentes de las llamadas lluvias ácidas y se producen por reacción directa del Nitrógeno y el Oxígeno del aire al elevarse la temperatura. Una central de aproximadamente 1000 MW. Que funcione unas 6.600 horas equivalentes al año emitiría del orden de 21.000 Tm. Estas sustancias son también precursores de la formación de Ozono troposférico, un peligroso contaminante que está alcanzando valores alarmantes en la atmósfera de ciertas zonas del territorio peninsular (Madrid, Huelva, Tarragona, Puertollano...). En bastantes de estos sitios se están superando los 3 límites establecidos cuando las condiciones meteorológicas facilitan su formación (elevada insolación y temperatura). No es nada aventurado suponer que el caudal de emisión que representa la planta agravará de forma significativa el fenómeno hasta convertirlo en un problema grave de difícil o imposible control. Se provocarán con ello daños significativos sobre la salud de quienes allí habitan.

Un problema que deben enfrentar estas plantas son sus necesidades de refrigeración. Como quedó dicho más arriba necesitan evacuar aproximadamente el 45% de su potencia térmica total. Las técnicas convencionales son dos: circuito abierto y torres húmedas. En la primera se necesitan emplear ingentes cantidades de agua que es devuelta al medio después de sufrir un salto térmico significativo. Con el fin de no dañar a los ecosistemas suelen existir dos límites a respetar. El primero es que dicho salto no supere en ningún caso los 3°C, y el segundo que la temperatura total del agua no llegue a los 30°C en ningún momento. Puesto que el calor específico del agua es de 1 kcal/kg./°C, aunque los caudales necesarios varían con la potencia de la planta (las solicitadas oscilan entre 400 y 1600 MW eléctricos), no existe en ningún caso caudal suficiente en las cuencas altas o medias de ningún río peninsular para utilizar este sistema que es el más sencillo y barato de implantar. Su uso se limita a las plantas costeras. Es preciso estudiar siempre el impacto específico sobre los ecosistemas costeros ya que en algún caso pueden verse afectados por esta polución térmica. El otro sistema tradicional (torres húmedas) "aprovecha" el calor residual para evaporar agua.

Como el calor latente de evaporación es de algo menos de 600 kcal/kg. , los caudales de agua necesarios son muchísimo menores. Aunque este es un uso consuntivo del agua de difícil encaje en cuencas que no pueden definirse en modo alguno como excedentarias. El consumo, para los rangos de potencia demandados, se sitúa entre 0,15 y 0,7 m<sup>3</sup>/seg. A la limitación en la disponibilidad del recurso hay que añadir la necesidad de purgar las sales contenidas en el agua evaporada que en todas las circunstancias degrada su calidad y que en algún caso puede llevar el impacto hasta valores inasumibles. Tampoco deben olvidarse entonces las alteraciones del microclima del lugar debido a las nubes formadas.

Recientemente hay compañías promotoras de proyectos (Entergy, Intergen...) que aseguran ser capaces de evacuar el calor residual con la ayuda sólo del aire en cualquier época del año, con un mecanismo no muy diferente del de los radiadores de los coches. Esto exige una superficie de contacto muy grande que lleva a la necesidad de ingentes cantidades de terreno o al empleo de elaboradísimas estructuras de ingeniería. En ambos casos se traduce en sustanciales incrementos de los costes de construcción. Es preciso además estudiar el impacto sobre los ecosistemas y cultivos cercanos de este aire recalentado. Debe mantenerse un saludable

escepticismo sobre la posibilidad real de construir estos sistemas en nuestro país, hay que recordar que hasta ahora no existe nada igual. Lo más parecido es el sistema mixto de refrigeración aire-agua instalado en la central nuclear de Ascó que se sitúa a mitad de camino entre las opciones segunda y tercera de las enunciadas.

Quedan además algunas otras preguntas que responder sobre las infraestructuras anexas necesarias de todos los proyectos. ¿Puede el gasoducto cercano suministrar el caudal necesario para el funcionamiento de la planta? ¿Son suficientes las infraestructuras eléctricas para evacuar su producción?. Y es preciso analizar en cada caso los impactos de las instalaciones anexas (posibles depósitos del combustible principal o de los auxiliares, equipamientos de producción eléctrica...), los específicos de la fase de construcción (afecciones a vías de acceso, ruidos, polvo, efectos sobre cauces, sobre valores culturales o arqueológicos...), las servidumbres urbanísticas provocadas por las líneas eléctricas de evacuación, por las subestaciones necesarias...

### **Una lluvia de proyectos**

Según información obtenida de red eléctrica española ([www.ree.es](http://www.ree.es)) en octubre del 2000, había en el sistema peninsular 37 proyectos que habían solicitado conexión a red y que sumaban 27.220 MW totales. Esta cifra incluía los 5.000 MW afectados por una moratoria de tres o cinco años que el gobierno decretó en Junio del 2000 (Decreto-Ley 6/2000) ya que habían sido solicitados por ENDESA o Iberdrola. El motivo de dicha limitación fue intentar limitar la capacidad de dominio que ambas tenían sobre el mercado eléctrico. Como se ve una verdadera lluvia de proyectos que a todo el mundo parece excesiva.

Sólo con que en el 2005 se hubieran concluido 20.000 MW (algo en teoría posible), en esa fecha más del 50% de la electricidad generada lo sería en estas centrales. Un crecimiento espectacular máxime si se tiene en cuenta que no existe ninguna planta acabada y únicamente hay dos proyectos en construcción avanzada: las plantas de Sant Adrià del Besós de ENDESA, y de San Roque (Cádiz) de Gas Natural. Las obras están iniciándose en las dos plantas de Castejón, en Arcos de la Frontera y en Castellón en el momento de escribirse estas notas.

Pero aparte de la evidente desmesura de este hipotético crecimiento, hay dudas más que razonables de que exista gas para todas ellas. El consumo de 20.000 MW sería de unos 22 km<sup>3</sup> de gas, mientras que la capacidad de los dos gasoductos existentes es de 10 (el del Magreb), y 4 (el europeo) km<sup>3</sup> respectivamente. En 1999 según datos de Sedigas a través de estos gasoductos entraron unos 9,2 km<sup>3</sup>, mientras que en metaneros lo hicieron 8,5 km<sup>3</sup>. Estos buques vierten en las tres terminales de gasificación que funcionan en la actualidad (Huelva, Cartagena y Barcelona) que se encuentran cerca de la saturación y que están duplicando su capacidad de almacenamiento actual que es de 460.000 m<sup>3</sup>. En este mismo año se consumió menos gas del que se adquirió (era necesario almacenar parte del mismo), y sólo se empleó una fracción menor para quemarlo en centrales de generación "policombustibles" que no disponen de "ciclos combinados". El grueso se destinó a la industria y al sector doméstico y comercial (15,2 km<sup>3</sup>). A corto plazo estos usos del gas son los que se prevé que sigan copando la mayor parte del mercado y que continúen con su rápido crecimiento de los últimos tiempos ayudados por la extensión de la red de gasoductos.

No existe por tanto posibilidad de atender la demanda para todas las centrales de ciclo

combinado ni aunque los gasoductos se emplearan a plena carga y se ampliara el número de

terminales de abastecimiento. Hay proyectadas otras dos en el Ferrol y Bilbao y una más en la localidad portuguesa de Sines. Además se habla de hacer otra para Baleares aunque se contempla la posibilidad alternativa de unirse a red de gasoductos peninsulares.

Además de los problemas relacionados con la ausencia de gas hay dificultades de almacenamiento. La vigente ley de hidrocarburos establece en su artículo 98 la obligación de disponer de reservas iguales al consumo de

35 días. Según datos de la Comisión Nacional de la energía la capacidad de almacenamiento en la península es de sólo 1,2 km<sup>3</sup>, por debajo de la exigencia legal en 1999. La dificultad está en que tampoco es fácil aumentar esta capacidad debido a que se requieren emplazamientos de características geológicas muy especiales que apenas si existen en nuestro territorio..5

Otro problema es la concentración del país suministrador de gas. En 1999 el 66,23 % del gas importado provino de Argelia cuando la ley de hidrocarburos fija en el artículo 99 un límite del 60%. Aunque también faculta al Ministerio de Economía para modificar este porcentaje en ciertas condiciones. Adicionalmente el Decreto-Ley 6/2000 establece en su artículo 15 que el 75% del gas procedente del contrato de Argelia se adjudicará a consumidores a tarifas, lo que excluye a las plantas de gas. Y que a partir del 2004 este gas se aplicará "preferentemente" a los mismos consumidores, aunque no precisa cantidades.

Hay que resaltar que además los consumidores domésticos y comerciales pagaron en el 2000 por el gas una cantidad de unas 8,3 pta./termia (sin incluir término fijo ni impuestos) y los industriales unas 2,7, bastante más, incluso en el segundo caso, que lo que se prevé que paguen los productores de electricidad por el mismo gas. No es por tanto fácil que el gas se oriente hacia estos últimos en detrimento de los usos "tradicionales".

Es evidente que el marco legal puede cambiar en el futuro para facilitar más la introducción de estas plantas, pero no es nada aventurado suponer que en el 2005 no habrá más de 4.000–5.000 MW instalados. De cara al 2010 hay muchas más dudas pero creo que no debería pasar la potencia instalada de 10.000–12.000 MW. En el peor de los casos.

Hay dos factores que van a ser decisivos en el medio-largo plazo para la suerte de las centrales.

El primero es la evolución del precio del gas. Resulta poco creíble que se mantenga en niveles de precios similares a los actuales si todos los países industrializados desarrollan, como ahora parece, vigorosos programas de construcción de estas plantas. El segundo es la directiva Europea que establece límites mucho más estrictos que los vigentes para los contaminantes ácidos (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) en las grandes instalaciones de combustión. Dependiendo de los plazos de aplicación, esto supondría el cierre de muchas viejas centrales de carbón (sobre todo lignitos) y fuel-oil y un impulso para las plantas de gas en ciclo combinado.

### **La oposición de ecologistas en acción**

Desde su asamblea constituyente está clara nuestra posición con relación a estas plantas.

Aunque algún grupo de los hoy integrados en Ecologistas en Acción(6) había contemplado la posibilidad de usar centrales de gas en un modelo de tránsito hacia una sociedad más ecologista, lo cierto es que no es este ni mucho menos el escenario que enfrentamos. No se cierran centrales nucleares, no se contiene el crecimiento de la demanda de electricidad, no se cumplen objetivos de limitación de gases de efecto invernadero, no se frena la minería a cielo abierto,... y hay una avalancha desmesurada de proyectos. Por eso nos oponemos a ellos.

Conviene en cualquier caso recordar que una vez construidas las centrales de gas (mientras el sistema eléctrico funcione con la actual normativa y mientras el precio del gas no se dispare) siempre entrarán en la red antes que las térmicas de fuel o de carbón, con lo que se limitarán las emisiones del sistema eléctrico. Pasa igual que con los parques eólicos(7). Pero hay elementos diferenciales claros que hacen que apoyemos los parques y rechacemos las centrales de gas.

Muy en primer término están las emisiones de gases de invernadero, que en el caso de la eólica son nulas mientras que en las centrales de gas solo son menores que en las demás térmicas con combustibles fósiles. No son por tanto, como afirman sus defensores, la mejor tecnología para prevenir el cambio climático. Tampoco debe olvidarse desde el ecologismo el hecho de que el viento es un recurso renovable y el gas al ritmo de

extracción actual se agotará en 62 años (8)..6

Por supuesto que la energía eólica no emite óxidos de nitrógeno, ni metano, no necesita sistemas de almacenamiento y transporte que pueden provocar explosiones y que son arañazos sobre el territorio, no necesita metaneros, no tiene problemas de refrigeración... Aunque es seguro que se ve más. ¿Pero debe nuestra sociedad ignorar de donde obtiene la energía que tan severo impacto provoca?.

Muy importante también para el ecologismo social es que la energía eólica es mucho más intensiva en puestos de trabajo que las centrales de gas. Tanto en la fase de construcción como en la de explotación. En esta segunda fase, en la que a la eólica se le ha criticado sin demasiado conocimiento, esta genera, por unidad de energía del orden de diez veces más puestos de trabajo que las plantas de gas (9). Lo que es sinónimo de una distribución de la renta más igualitaria, y puesto que los parques se ubican en zonas rurales actúan como un freno al despoblamiento del mundo rural. Las centrales de gas debido a su sofisticada tecnología, a la utilización de un recurso importado y a la escasa necesidad de manipulación, es la forma de producción de electricidad menos intensiva en trabajo.

Las centrales de gas no se planifican, se ubican allí donde quieren sus promotores, los parques eólicos sí. Es cierto que no todos los planes de las CC.AA. para la eólica son iguales de buenos, que hay algunos menos vinculasteis que otros, que su elaboración ha sido más o menos democrática y consensuada, y que los hay más y menos restrictivos. Aunque mejorables en ocasiones, son planes.

Los agentes económicos que las soportan son distintos. Quienes promueven las plantas de gas son las grandes empresas energéticas con cotizaciones bursátiles billonarias que tienen que invertir cantidades de decenas de miles de millones de pta. y asegurar contratos de suministro de materia prima colosales. En la eólica los promotores son más variados: hay filiales de compañías eléctricas, pero también empresarios medianos, cajas de ahorros, sociedades cooperativas, fondos de pensiones... Sólo son capaces de compararlos quienes mienten o nunca se han enfrentado a los primeros.

Tampoco debe olvidarse el origen concreto de la mayor parte del gas que llega a nuestro país: es de Argelia. Un país cargado de agresiones a los derechos humanos que han encontrado comprensión en nuestros gobiernos para no dañar los intereses económicos comunes. La existencia del gasoducto exige además mecanismos de defensa ya que se trata de un elemento vital. La concentración de unidades militares y de equipos de vigilancia en el sur peninsular tiene que ver, entre otras cosas, con la protección del vital cordón umbilical energético.

Muchas diferencias que justifican una posición contraria.

## NOTAS

- 1.-No están incluidas en él las islas Baleares y Canarias ni las colonias del norte de Africa.
- 2.- Las centrales de carbón se han construido a lo largo de períodos más largos. En la actualidad representan más del 40% de la producción total de electricidad.
- 3.-Una termia es un millón de calorías. 1 m<sup>3</sup> de gas equivale a entre 9 y 10 termias según la composición específica del gas. En este artículo se emplea siempre la equivalencia 1m<sup>3</sup>=9 termias.
- 4.-Es el resultado de dividir la energía producida en un año por la potencia nominal de la planta. Es el tiempo que la planta "funciona a plena potencia"..7
- 5.- Si se considera únicamente la fase de funcionamiento una planta de carbón emite unos 885 gr. de

CO2/kwh, mientras que una de gas en ciclo combinado unos 345.(State of the world 1994). Si se tiene en cuenta todo el "ciclo de vida" (energía y materiales para construir la instalación, transporte, infraestructuras anexas...) el carbón puede llegar a 1026 gr./kwh y el gas a 402.(Ciemat 1998)

6.– AEDENAT. "Energía 2000". Plan energético alternativo redactado en 1991 junto al área de economía de IU.

7.–Ver "El debate sobre la energía eólica" artículo mío publicado en Gaia nº 16.

8.–B.P. Statistical Review of World Energy. Junio 1999. Es posible que se descubran nuevos yacimientos y que se mejoren las técnicas de extracción con lo que aumentarán los recursos disponibles. Es seguro que crecerá el consumo en los próximos años.

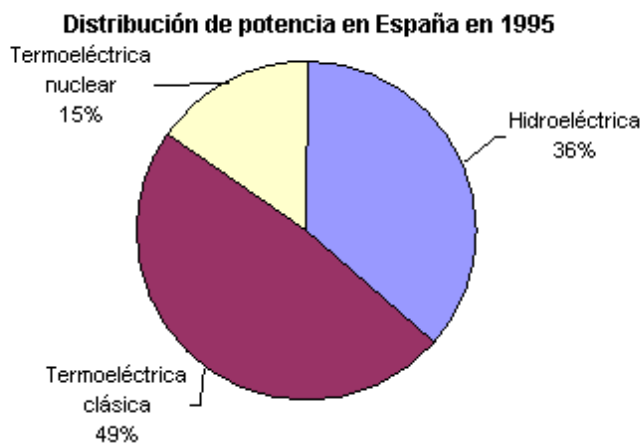
9.–No existen plantas de gas en funcionamiento y hay que dar por buenos los presentados en los proyectos. La planta de Morata de Tajuña (Madrid) prevé generar entre 35–45 puestos de trabajo estables para una planta de 1200 MW. Si funciona 7000 horas se produce un puesto de trabajo por cada 240.000 MWh/año. O 187.000 si se toman los 45 trabajadores. Un parque eólico de 20 ó 30 MW que funcione 2.500 horas y emplee 4 trabajadores significa 12.500 MWh/año/trabajador en el mejor de los casos o 18.750 en caso de que sea de 30 MW. Ambos corresponden a proyectos medios que ahora se ejecutan con ambas técnicas.

## ENERGÍA TÉRMICA DE CARBÓN

### Los combustibles fósiles en la producción eléctrica

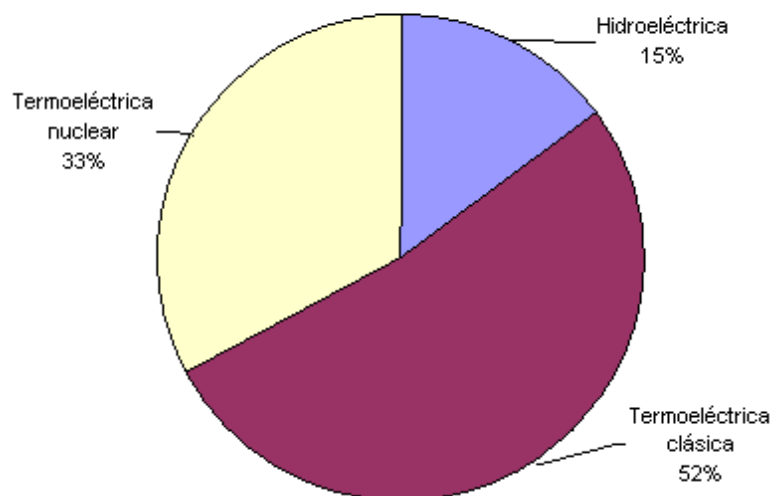
El carbón representa cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales de combustibles fósiles conocidos actualmente. Constituye, y probablemente seguirá constituyendo en un futuro próximo, la materia prima energética más utilizada en la producción de energía eléctrica a escala mundial. Sin embargo, en el caso español, la disponibilidad relativamente limitada de reservas nacionales y, en muchos casos, su baja calidad supone un serio reto, dadas las exigencias medioambientales y el futuro marco de competencia.

A 31 de diciembre de 1995, la potencia total instalada de las centrales eléctricas españolas en servicio ascendía a 48.058 MW, de los cuales 17.478 MW correspondían a centrales hidroeléctricas, 23.163 MW a centrales termoeléctricas clásicas y 7.417 MW a centrales nucleares.



De los 168.904 millones de kWh que se produjeron en España en 1995; el 52,5% procedían de centrales termoeléctricas clásicas. En particular, un 47% de la cifra total fue generada a partir de carbón.

## Producción de energía eléctrica en 1995



Estos datos reflejan, en definitiva, la importancia del carbón para el suministro de energía eléctrica. Una importancia que es aún más acusada en el caso de carbones nacionales, pues éstos representan cerca del 87% de toda la electricidad que se genera en España a partir del carbón. Aunque el Plan Energético Nacional 1991–2000 promueve un mayor uso de otros combustibles, como el gas natural y el carbón importado, la participación del carbón nacional en el suministro eléctrico seguirá siendo muy importante en las próximas décadas.

En cuanto al fuelóleo y al gas natural, la aportación a la producción eléctrica alcanzó en 1993 el 2,3% del total producido.

### **Reservas de carbón**

De acuerdo con los datos del Consejo Mundial de Energía, las reservas recuperables probadas de carbón existentes en España ascendían en 1990 a 1.450 millones de toneladas de hulla y antracita, 400 millones de toneladas de hulla subbituminosa y 200 millones de toneladas de lignito pardo. Estas cifras no incluyen las reservas adicionales estimadas; 3.350 millones de toneladas serían recuperables en las condiciones económicas y tecnológicas previsibles.

En consecuencia, al ritmo actual de producción de carbón, los recursos nacionales serían suficientes para garantizar el abastecimiento nacional durante cerca de 50 años si se atiende únicamente a las reservas recuperables probadas; durante 150 años si añadimos a las anteriores las reservas adicionales estimadas.

No obstante, es preciso subrayar que son muy inferiores a las reservas recuperables probadas de otros países:

\*Datos en millones de toneladas.

### **Funcionamiento de una central termoeléctrica**

Nosotros nos centraremos en las centrales térmicas convencionales o clásicas. Nos referimos mediante este término a las centrales que utilizan combustibles fósiles como materia prima, es decir, carbón, fuel y gas natural. En términos de producción de energía eléctrica, la única diferencia entre las centrales nucleares y las térmicas convencionales es la manera de generar el vapor para activar las turbinas. En las centrales nucleares el calor se produce por la fisión nuclear en un reactor, mientras que en las centrales convencionales el vapor se genera por la combustión del carbón o de derivados del petróleo.

En las centrales térmicas convencionales, la energía química ligada por el combustible fósil (carbón, gas o fuelóleo) se transforma en energía eléctrica. Se trata de un proceso de refinado de energía. El esquema básico de funcionamiento de todas las centrales térmicas convencionales es prácticamente el mismo, independientemente de que utilicen carbón, fuelóleo o gas. Las únicas diferencias sustanciales consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y el diseño de los quemadores de la misma, que varía según el tipo de combustible empleado.

En el caso de una central térmica de carbón, el combustible se reduce primero a un polvo fino y se bombea después dentro del horno por medio de unos chorros de aire precalentados. Si es una central térmica de fuel-oil, el combustible es precalentado para que fluidifique e inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de derivados del petróleo. Finalmente, si se trata de una central térmica de gas, tenemos otro tipo de quemadores específicos. En definitiva, la energía liberada durante la combustión en la cámara de la caldera, independientemente del tipo de combustible, hace evaporarse el agua en los tubos de la caldera y produce vapor.

El vapor de agua se bombea a alta presión a través de la caldera, a fin de obtener el mayor rendimiento posible. Gracias a esta presión en los tubos de la caldera, el vapor de agua puede llegar a alcanzar temperaturas de hasta 600 °C (vapor recalentado).

Este vapor entra a gran presión en la turbina a través de un sistema de tuberías. La turbina consta de tres cuerpos; de alta, media y baja presión respectivamente. El objetivo de esta triple disposición es aprovechar al máximo la fuerza del vapor, ya que este va perdiendo presión progresivamente. Así pues, el vapor de agua a presión hace girar la turbina, generando energía mecánica. Hemos conseguido transformar la energía térmica en energía mecánica de rotación.

El vapor, con el calor residual no aprovechable, pasa de la turbina al condensador. Aquí, a muy baja presión (vacío) y temperatura (40°C), el vapor se convierte de nuevo en agua, la cual es conducida otra vez a la caldera a fin de reiniciar el ciclo productivo. El calor latente de condensación del vapor de agua es absorbido por el agua de refrigeración, que lo entrega al aire del exterior en las torres de enfriamiento.

La energía mecánica de rotación que lleva el eje de la turbina es transformada a su vez en energía eléctrica por medio de un generador síncrono acoplado a la turbina.

### **Las nuevas tecnologías energéticas.**

#### **Perspectivas del gas.**

Dentro de las nuevas tecnologías energéticas, destacan las técnicas de uso "limpio" del carbón. Comprenden diversos sistemas avanzados de combustión y de optimización en el aprovechamiento de la energía resultante. La aplicación de estas técnicas conduce a una reducción significativa de las emisiones.

## **COMBUSTIÓN DE LECHO FLUIDO.**

Es una tecnología que permite una utilización más eficiente y limpia del carbón en las centrales térmicas.

Consiste en efectuar la combustión del carbón en un lecho compuesto por partículas de este combustible, sus cenizas y un absorbente alcalino, generalmente caliza, que se mantiene suspendido por la acción de una corriente de aire ascendente. De esta forma, el conjunto tiene la apariencia de un líquido en ebullición. Con ello, se obtiene un mejor rendimiento en el proceso de combustión, al haber una mayor superficie de contacto entre el aire y las partículas reaccionantes. El aspecto más positivo es que se produce una fuerte reducción de las emisiones de gases a la atmósfera.

Hay dos tipos fundamentales de combustión en lecho fluido: la tecnología de lecho fluido atmosférico y la tecnología de lecho fluido a presión.

Por un lado, con la tecnología de lecho fluido atmosférico se logra unos niveles de reducción de emisiones de SO<sub>2</sub> de entre un 60% y un 90%, así como disminuciones apreciables en las de NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>. Vemos que tiene una alta capacidad para la retención del azufre.

Por lo que se refiere a la tecnología de lecho fluido a presión, las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> son también inferiores a las que se generan en una central convencional. Dadas las limitaciones fijadas por las leyes de la termodinámica, el rendimiento en las centrales térmicas no puede sufrir una mejora substancial. Actualmente, menos del 40% de la energía producida por combustión se transfiere finalmente como energía eléctrica. El resto se desperdicia principalmente como calor residual. Con la tecnología de lecho fluido a presión se pueden conseguir niveles de eficiencia superiores al 40%.

## **GASIFICACIÓN.**

Se trata de una tecnología avanzada mediante la cual el carbón u otros combustibles, como biomasa, madera, fuelóleo, se convierten en un gas combustible limpio con un poder calorífico bajo o medio.

En general, puede efectuarse de dos formas. La primera opción consiste en transformar el carbón en gas una vez que éste es extraído de la mina, para lo cual se inyecta en un reactor oxígeno junto con el carbón para generar un gas apto para ser quemado en una central. La segunda opción es una gasificación "in situ" o subterránea, es decir, inyectando oxígeno directamente en el yacimiento. Esta última opción, una vez completamente desarrollada, permitirá el aprovechamiento de yacimientos que, por su especial configuración y profundidad, plantean graves problemas técnicos y económicos en la extracción del mineral.

## **CICLO COMBINADO DE GAS NATURAL Y CARBÓN.**

Consiste básicamente en alimentar a una caldera de carbón pulverizado con los gases de descarga de una turbina de gas natural. Aparte de aprovechar la potencia generada por la turbina de gas, utilizamos los

gases de escape de la turbina de gas para introducirlos en la caldera de carbón y así, mejorar el rendimiento del conjunto. Es posible su explotación con gas natural, con carbón o con el uso combinado de ambos combustibles.

La tecnología de gasificación de carbón está consiguiendo en los últimos años resultados muy positivos cuando se encuentra acoplada a un ciclo combinado, es decir, a sistemas que permiten el aprovechamiento de una turbina de vapor y una turbina de gas. Este sistema se conoce con el nombre de *Ciclo Combinado con Gasificación de Carbón Integrada (IGCC)*, que constituye una tecnología de combustión limpia de carbón con una elevada eficiencia energética.

Las ventajas medioambientales de la generación de electricidad por IGCC consisten en la obtención de unas emisiones muy bajas de SO<sub>2</sub> y de partículas, lo que hace posible consumir carbones de alto contenido en azufre y baja calidad.

En España, se ha construido una planta de IGCC de 320 MW en Puertollano. De esta potencia eléctrica, 200 MW proceden de una turbina de gas y 120 MW de una turbina de vapor. Se estima que, en comparación con una central convencional, la de Puertollano reducirá en un 99% las emisiones de SO<sub>2</sub>, en un 94% las de NO<sub>x</sub>, en un 90% las de partículas y en un 20% las de CO<sub>2</sub>. Además, existen numerosos proyectos para la construcción de centrales térmicas de ciclo combinado, así como para la adaptación a ciclo combinado de centrales ya existentes.

### **Contaminación térmica**

La mayor parte del calor residual producido es eliminado en el condensador mediante el agua de refrigeración.

En las Centrales Térmicas se producen descargas de tipo térmico. Es decir, se vierten aguas residuales que podrían ocasionar una eventual contaminación térmica del medio hídrico receptor. Este calor se disipa al medio ambiente mediante dos posibles sistemas:

- ◆ Refrigeración en circuito abierto.
- ◆ Refrigeración en circuito cerrado.



**Pozo de recogida de aguas en la central térmica de Besós**

El primer sistema se emplea en las centrales refrigeradas con agua de mar. Se vierte la totalidad del agua tomada y se produce la descarga térmica en el mar.

El segundo sistema se emplea en las centrales que utilizan agua dulce. Se emplean torres de refrigeración en las que, debido a la evaporación, se produce un incremento de la concentración salina. Para evitar incrustaciones en el sistema se realiza una purga de la torre. Este efluente líquido que se elimina también hay que tratarlo.

Existen límites legales de exigencia para la temperatura del agua a verter dependiendo del lugar de la central, de si se vierte a río o mar

### **Contaminación acústica y vertidos químicos**

### **CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.**

Además de los requisitos de limitación sonora que se encuentran incluidos en las prescripciones de puesta en marcha de las centrales más recientes, se han realizado mejoras específicas de la contaminación acústica actuando, por ejemplo, sobre el nivel sonoro causado por la marcha de los ventiladores de tiro forzado o por componentes pasivos como las válvulas de purga o las válvulas limitadoras de la presión del gas natural.

La aplicación de las mejoras no se ha hecho de manera generalizada, sino que cada central ha realizado modificaciones de mayor a menor extensión, dependiendo de sus condiciones específicas.

### **VERTIDOS QUÍMICOS.**

Los efluentes líquidos, además del condensador para la refrigeración, provienen de muchos subsistemas de la Central. Al final, se obtienen aguas residuales contaminadas con materiales diversos.

En general, las procedencias son de la generación de vapor, de la refrigeración ya comentada, del tratamiento y depuración del agua de alimentación, del manejo de cenizas por vía húmeda, etc.

También se producen efluentes líquidos con otros usos del agua, de forma intermitente. Son las operaciones de limpieza de caldera y precalentadores.

Los componentes que se encuentran en estas aguas residuales son: coagulantes, productos de regeneración, productos de corrosión, escoria, cenizas y otros.

### **Conclusiones. El futuro de las centrales térmicas en relación con el medio ambiente**

Es indudable que, en el futuro, las centrales térmicas de carbón continuarán sometidas a fuertes condicionantes ambientales.

En relación con las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se dispone de nuevas alternativas que serán aplicables en un futuro próximo. Algunas de ellas son:

- ◆ alargamiento de la vida de las instalaciones adaptándolas a las exigencias ambientales.
- ◆ depuración avanzada del carbón.
- ◆ combustión en lecho fluidizado a presión o atmosférico.
- ◆ gasificación del carbón integrada en ciclo combinado.
- ◆ cogeneración.
- ◆ ciclos combinados.
- ◆ sistemas mixtos avanzados.
- ◆ aplicación de ciclos termodinámicos avanzados.

Algunas de estas posibilidades se hallan todavía en fase de desarrollo, sin llegar a ser económicamente viables por el momento. Otras, en cambio, sí son aplicables en la actualidad.

En el caso del sector eléctrico español, se está realizando una combinación entre la investigación en tecnologías innovadoras y la implantación de aquéllas que son económicamente razonables. Paralelamente se continúan desarrollando programas relacionados con el uso limpio del carbón. En España se debe hacer un especial esfuerzo en este sentido ya que muchos carbones nacionales introducen dificultades técnicas y económicas adicionales.

Existen pruebas científicas sólidas y concluyentes que demuestran la incidencia real de las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el cambio climático. Mientras esto se produce, el sector eléctrico puede contribuir a reducir dichas emisiones a través de las siguientes acciones:

- ◆ aumento en la eficiencia en la generación (ciclos combinados).
- ◆ cogeneración.
- ◆ desarrollo de esquemas de ahorro y conservación de la energía.
- ◆ modificación de las políticas de combustibles (gas natural, biomasa) y de los sistemas de generación (energía nuclear y renovables).

Por otro lado, las posibilidades de reducir las emisiones de gases ligados al efecto invernadero mediante cambio de combustible son, en la actualidad, restringidas. En las conclusiones del Consejo Mundial de la Energía (CME) de 1992 se señala que el carbón es la fuente más diversificada y con mayores reservas globales en el mundo. Por tanto, constituye una fuente energética fundamental en la que debe apoyarse un suministro estable a largo plazo.

### **Emisiones causa principal de la contaminación**

El aspecto más importante de la incidencia de una central térmica en el medio atmosférico consiste en las emisiones de partículas y gases. En concreto, las emisiones son de:

- ◆ Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>).
- ◆ Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- ◆ Óxidos de Carbono (CO y CO<sub>2</sub>).
- ◆ Partículas en suspensión y sedimentables.

### **Óxidos de Azufre.**

El anhídrido sulfuroso, (SO<sub>2</sub>), es considerado como uno de los causantes de la lluvia ácida y de los daños en los bosques. Las Centrales Térmicas que utilizan carbón o fuelóleo producen grandes cantidades de este gas.

El anhídrido sulfuroso, se origina durante la combustión del azufre contenido en el combustible. Por ejemplo, para una instalación de 500 MW, la producción de este compuesto es del orden de 2,5 a 7,5 toneladas por hora si el fuelóleo tiene entre un 1% ó un 3% de contenido de azufre respectivamente. Si se quema carbón con un contenido en azufre del 1% la producción de SO<sub>2</sub> es de 5 toneladas por hora.

Por otra parte, el anhídrido sulfúrico, (SO<sub>3</sub>), es resultado de la oxidación del anhídrido sulfuroso que tiene lugar en los humos. Esta transformación varía entre el 0 y 5% en función de las condiciones de combustión. Con un 1% en contenido de azufre se liberarían desde 100 a 400 kg por hora en el caso del fuelóleo, y en torno a 250 en el caso de un carbón.

Para controlar esta contaminación, existen unos niveles específicos de emisión de SO<sub>2</sub>, así como criterios sobre los niveles de inmisión que deben ser respetados. Además, para estas emisiones se construyen chimeneas de elevada altura para facilitar la difusión atmosférica.

En este sentido se han desarrollado en España procesos de combustión limpia del carbón que tratan de reducir la producción de SO<sub>2</sub>. Por otro lado, hay que destacar que los carbones importados tienen mejores características medioambientales que los nacionales porque presentan menor contenido en azufre y cenizas. Además son más económicos. En las centrales de fuelóleo se ha optado por utilizar aquéllos con bajos contenidos en azufre.

### **Óxidos de Nitrógeno.**

Estos gases se emiten en las centrales de carbón, en las de fuelóleo y en las de gas. Las cantidades emitidas pueden ser muy variables, ya que su formación depende considerablemente de las condiciones de combustión. El óxido más importante es el monóxido, (NO), aunque también se puede encontrar dióxido, (NO<sub>2</sub>). No obstante, se suele englobar a estos gases bajo la denominación genérica de NO<sub>x</sub>. Las cifras de emisión suelen ser de 450 a 800 mg/Nm<sup>3</sup> en las centrales de fuelóleo, y de 400 a 1200 en las de carbón.

Para reducir estas emisiones, el sector eléctrico tiene en marcha diversos proyectos como son el cambio de quemadores convencionales por otros de baja producción de NO<sub>x</sub>, o el estudio de las diversas posibilidades que ofrece la utilización del gas natural en combinación con otros combustibles.

## **Óxidos de Carbono.**

Están adquiriendo una importancia creciente las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la generación térmica de electricidad, por su eventual incidencia y contribución al fenómeno del cambio climático global. Las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> por KW.h generado están ligadas principalmente al contenido en carbono del combustible consumido y al rendimiento de la central.

El problema del CO<sub>2</sub> está todavía en estudio y no se han aportado todavía soluciones eficientes como en el caso de los demás gases. En cuanto al monóxido, (CO), por sus bajos valores específicos, no se toma en consideración.

## **Partículas en suspensión y sedimentables.**

Estas partículas se emiten con el resto de los gases por la chimenea de la central. La diferencia entre los distintos tipos de partículas se basa fundamentalmente en su tamaño: aquellas que superan las 10 micras y se depositan de forma relativamente rápida en el suelo reciben el apelativo de sedimentables; y las de tamaño inferior son las de suspensión, que se comportan en la atmósfera como gases.

Existen equipos que eliminan partículas sólidas, con grandes rendimiento en su operación. Podemos mencionar dispositivos como precipitadores electrostáticos o los filtros de mangas. Otro sistema es el ciclón, el cual es muy económico aunque no llega a rendimientos tan altos como los filtros electrostáticos.

## **Extracciones de carbón**

En el caso de utilizarse carbones, el número de interacciones con el medioambiente es mayor que en el caso del fuelóleo o del gas natural. Este hecho se debe a los problemas que el carbón añade para su extracción, almacenamiento y la utilización de residuos de dicho combustible fósil.

Tanto las explotaciones a cielo abierto como las subterráneas presentan repercusiones medioambientales.

Algunos de estos problemas son:

- ◆ Descenso del nivel de agua subterránea alrededor de la explotación.
- ◆ Desescombrados de las capas situadas por encima del carbón.
- ◆ Daños a tierras de cultivo.
- ◆ Daños a bosques.
- ◆ En ocasiones, es necesario destruir poblaciones.

Sin embargo, estas repercusiones a menudo se tratan de minimizar. Las acciones a realizar por parte de los explotadores, en conjunto a veces con la Administración, suelen ser programas de recultivo y reforestación, así como una adecuado plan urbanístico si existen poblaciones que se ven afectadas, como puede ser el caso de la Central Térmica Weisweiler en Alemania.

## **CENTRALES TÉRMICAS DE FUEL-OIL**

## Minería energética y Medio Ambiente

La minería se ha definido como la extracción de minerales de la corteza terrestre para su utilización por parte del hombre. Cualquier actividad minera da lugar a un cierto cambio en la Naturaleza y, en consecuencia, ejerce un determinado impacto ambiental. Su magnitud, –que puede variar de escasamente significativa a enormemente acusada– y la naturaleza de los impactos dependen del tipo de mineral, la extensión del yacimiento, el método de explotación y las características del emplazamiento minero y de sus alrededores.

Actualmente, los carbones –de muy distintas variedades– son uno de los recursos mineros más explotados. Por ello, la preocupación ambiental relacionada con la minería ha surgido asociada directamente al carbón.



La extracción de los carbones se puede realizar tanto en minería de interior (subterránea) como de superficie (a cielo abierto). Respecto a su incidencia ambiental, entre ambas existen coincidencias y diferencias: En general, las alteraciones producidas por la minería subterránea son menores y menos extensas que las causadas por las explotaciones a cielo abierto, aunque ello no signifique que no puedan ser importantes. Particularmente, en la minería de exterior son más drásticas las modificaciones del suelo y del subsuelo, así como la incidencia sobre las aguas superficiales y subterráneas, apareciendo también efectos sobre la atmósfera y un mayor impacto paisajístico.

### **Principales impactos ambientales**

- Impacto visual y ocupación de terrenos  
Excavaciones superficiales, escombreras, instalaciones industriales (maquinaria, lavaderos, plantas de trituración y cribado, etc.), maquinaria móvil.
- Contaminación de aguas  
Modificación de ciclos hidrológicos naturales, aguas de bombeo de minas, escorrentías, lixiviados y percolados, pluviometría, aguas subterráneas, nivel freático. Variación de las características: acidez, presencia de sólidos en suspensión y metales pesados.  
Aguas de proceso: lavaderos, refrigeración, transporte hidráulico, control de polvo.
- Contaminación Atmosférica  
Emisiones de polvo fugitivo. Contaminantes en focos de combustión espontánea. Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Fuentes móviles: cintas transportadoras, vehículos. Parques de carbón. Escombreras.
- Residuos  
Estériles de las explotaciones mineras. Residuos Peligrosos (RPs). Residuos asimilables a urbanos

(RSUs). Vertederos y escombreras.

- Ruidos y vibraciones

Maquinaria. Tráfico. Voladuras.

- Suelo

Asentamiento del terreno (subsistencia) en la minería de interior.

Estos impactos se producen en el territorio de forma muy localizada y afectan al entorno inmediato de las explotaciones mineras.

### **Corrección de impactos**

El hecho de que los impactos ambientales de la actividad minera se limiten a las proximidades de las minas hace que puedan corregirse de forma muy eficaz, máxime si las medidas de control se abordan desde el inicio de la explotación y de forma coordinada con el desarrollo de la misma.

- Restauración de terrenos

Diseño y acondicionamiento de las nuevas superficies (escombreras). Disposición selectiva de los estériles. Reposición de tierra vegetal. Aporte de enmiendas y fertilización. Ejecución de siembras y plantaciones. Labores de mantenimiento. Recolección de cosechas. Creación de áreas de recreo y/o de protección ambiental.

- Tratamiento de aguas

Segregación de aguas limpias. Minimización y tratamiento físico-químico de aguas contaminadas (neutralización, decantación y evacuación de lodos).

- Tratamiento del hueco final

Asignación de usos en función de las características de la mina y de las condiciones ambientales de su entorno (creación de lagos, relleno con estériles de otras explotaciones, deposición de residuos, etc.).

### **Centrales térmicas de combustibles fósiles**

#### **Funcionamiento**

En una central térmica alimentada con combustibles fósiles (carbones, derivados líquidos del petróleo o gas natural), el proceso de combustión (reacción química de ciertos componentes con el oxígeno del aire) se realiza en la caldera, donde la energía interna de las materias primas se libera generando calor.

La mayor parte de las centrales eléctricas utiliza el calor para producir vapor de agua a alta temperatura y presión; éste hace girar una turbina de vapor que, a su vez, mueve el generador eléctrico (alternador).

En resumen, la energía interna de los combustibles se libera en forma de calor para producir un movimiento de turbinas que genera corriente eléctrica.

Cuando son combustibles gaseosos (y en algunos casos también con los líquidos), los gases de combustión accionan directamente las turbinas (turbina de gas).

La tendencia hoy es la generación asociada de turbinas de gas y de vapor (producido a partir de los gases calientes de escape), con lo que se alcanzan rendimientos de producción eléctrica más elevados que con los ciclos convencionales.

Un último sistema, aplicado en instalaciones de baja potencia, es el empleo de motores diesel para mover directamente el generador eléctrico.

## **Combustibles fósiles**

De forma general, puede decirse que el poder calorífico de un combustible está directamente asociado a sus contenidos en carbono e hidrógeno. Los restantes componentes del combustible (muy variables según la naturaleza de la materia prima) contribuyen a reducir esa potencia calorífica, a complicar el proceso de combustión y a generar una serie de subproductos cuya incidencia ambiental es frecuentemente negativa.

Los principales combustibles fósiles empleados en centrales termoeléctricas son, como ya se ha indicado:

**Gas natural:** Constituido en su mayor parte por metano (CH<sub>4</sub>) y algunos otros hidrocarburos ligeros, es un combustible esencialmente limpio cuyo uso genera muy pocos productos residuales.

**Derivados líquidos del petróleo:** Son fundamentalmente el fuelóleo y el gasóleo, obtenidos en el proceso de refinado del crudo. Sus características responden a especificaciones adaptadas a los requerimientos de las centrales térmicas. Tienen sin embargo una composición y un contenido en azufre que dan lugar a residuos de carácter contaminante (óxidos de azufre y nitrógeno, hollines, etc.).

**Carbones:** Sin duda son los combustibles fósiles más complejos. Se trata de rocas sedimentarias heterogéneas originadas a partir de restos vegetales muy diversos, sometidos a altas presiones, elevaciones de temperatura y movimientos de la corteza terrestre. Como resultado de este largo y complicado proceso, en los yacimientos de carbón se encuentran, junto con los productos procedentes de vegetales, restos minerales ajenos que contribuyen a aumentar la variedad y calidad de los carbones.

Dependiendo del grado de carbonización existen una serie de variedades de carbones que, en orden ascendente de poder calorífico, son: turba, lignito, carbones subbituminosos, carbones bituminosos (hullas) y antracita.

Desde el punto de vista de su empleo como combustible, en cualquier carbón pueden distinguirse dos grandes fracciones:

**Materia carbonosa:** Básicamente es la que aporta el contenido energético.

**Fracción estéril:** Constituida por humedad (agua) y materia mineral (que normalmente se libera como ceniza).

Sin embargo, en ambas fracciones existen constituyentes muy diversos, como el azufre, nitrógeno, halógenos y otros elementos minoritarios, todos con importante incidencia ambiental. Por ello el uso de carbones resulta el más complejo de entre los combustibles fósiles.

## **Incidencia ambiental de la generación de electricidad en centrales térmicas**

Todo proceso de combustión tiene efectos muy directamente relacionados con la contaminación atmosférica y, en particular el de los carbones, con la producción de residuos sólidos.

La combustión ideal de un compuesto constituido sólo por carbono e hidrógeno, quemado con un adecuado exceso de aire y sin reacciones secundarias, únicamente produciría dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), a los que se unirían el oxígeno sobrante y el nitrógeno procedentes del aire.

La situación se complica al quemar carbones y otros combustibles fósiles, que originan nuevos productos normalmente indeseables. Desde el punto de vista ambiental, los productos genéricos pueden ser gaseosos, líquidos, sólidos, calor residual, y otras formas de contaminación (residuos industriales, ruidos).

## **Efluentes gaseosos:**

Los contaminantes principales presentes en los gases de combustión son:

Óxidos de azufre (SOx): Proceden del azufre contenido en los combustibles. El principal es el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Óxidos de Nitrógeno (NOx): Proceden del nitrógeno presente en el aire de combustión, o en la propia composición del combustible.

Partículas sólidas contenidas en los gases.

Otros productos: Emitidos en bajas concentraciones, pero que cada vez reciben más atención, por ejemplo los compuestos halogenados, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (COV), elementos químicos en muy pequeña concentración (trazas), etc.

### **Efluentes líquidos:**

A diferencia de los otros tipos de contaminación, la que afecta a las aguas es similar en cualquier central térmica, dependiendo sólo de su potencia y de las características del agua de aportación (cauce receptor).

Una central necesita importantes cantidades de agua para su operación, especialmente en la refrigeración del condensador. Como resultado se produce gran variedad de corrientes residuales, algunas de forma continua (agua de refrigeración, purgas de caldera, plantas de tratamiento, extracción de cenizas, efluentes de depuración de gases, etc.), y otros intermitentemente (operaciones de limpieza, efluentes sanitarios, drenajes y escorrentías, etc.).

Existen, por su naturaleza, dos tipos de vertidos líquidos en una central:

- Vertidos térmicos: Están asociados al agua de refrigeración y normalmente la única modificación que causan sobre el medio es un aumento de temperatura, aunque en algún caso se trata de aguas que precisan tratamientos de poca entidad antes de ser vertidas.
- Vertidos químicos: Son de variada composición, aunque insignificantes en cantidad comparados con el caudal de agua de refrigeración. Reciben tratamiento convencional (neutralización, clarificación, filtración, etc.) antes de su descarga al medio receptor.

### **Residuos sólidos:**

Sólo son significativos en el caso de combustión de carbones. La formación de escorias del hogar y de cenizas volantes emitidas depende de la calidad del carbón y del sistema de combustión. Aunque pueden tener alguna utilidad industrial (fabricación de hormigones y cementos), las grandes cantidades producidas cuando se queman carbones de baja calidad hacen necesario depositarlas en escombreras y balsas de almacenamiento en minas a cielo abierto, siempre cuidando que la incidencia ambiental de estas instalaciones sea mínima.

### **Efluentes energéticos:**

El proceso de producción de energía eléctrica tiene, en general, un rendimiento reducido. Aproximadamente el 65% de la capacidad contenida en el combustible se lanza al Medio Ambiente como calor residual. Una parte se pierde en los gases de combustión, pero la mayoría es disipada a través del circuito de refrigeración del condensador.

En sistemas de refrigeración abiertos el calor se descarga en forma de agua caliente, en tanto que cuando los circuitos son cerrados con torre de refrigeración de tipo "húmedo", se produce un penacho de vapor de agua a alta temperatura. Conviene aclarar que, aunque este penacho resulta muy aparatoso, no tiene compuestos

contaminantes y su única influencia sobre el medio es la aportación de calor, aparte del impacto visual.

Otras formas de contaminación vinculadas con las centrales térmicas:

- **Residuos sólidos:** Son *residuos inertes* (además de las escorias y cenizas ya mencionadas, están los yesos de desulfuración y los residuos procedentes de instalaciones depuradoras de agua), *residuos peligrosos* (aceites, grasas, dieléctricos de transformadores, disolventes, etc.) y otros residuos asimilables a urbanos . Todos ellos se gestionan de acuerdo con los procedimientos autorizados por la normativa ambiental.
- **Ruido:** Es posible que existan pequeños focos de emisión al exterior en alguna de las operaciones relacionadas con la producción en centrales térmicas.
- **Incidencia paisajística:** Impacto visual de las instalaciones y sus penachos.

Se ha atribuido a las centrales térmicas de combustibles fósiles una contribución protagonista al efecto invernadero (por la emisión de CO<sub>2</sub>) y a la lluvia ácida (debido a las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>). Aunque se trata de temas controvertidos, las actuales políticas ambientales se orientan a reducir estas emisiones. En particular, para el CO<sub>2</sub> se requieren acciones a nivel mundial si se desean resultados minimamente efectivos.