

# **EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE**

---

# Í N D I C E

## PRESENTACIÓN

|                                                                                                                  |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>CAPÍTULO I: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE. ....</b>                                 | <b>9-22</b>  |
| 1. Trabajando con la Naturaleza. ....                                                                            | 10           |
| 2. Conciencia medioambiental. ....                                                                               | 12           |
| 3. El medio ambiente en el marco Comunitario. ....                                                               | 13           |
| 4. El medio ambiente tras la Conferencia de Río de 1992. ....                                                    | 14           |
| 5. La evolución de los problemas medioambientales. ....                                                          | 16           |
| 6. Evolución de la percepción medioambiental en la empresa. ....                                                 | 20           |
| <b>CAPÍTULO II: EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE .....</b>                                        | <b>23-32</b> |
| 1. La energía eléctrica, una energía limpia. ....                                                                | 24           |
| 2. Evolución histórica de la preocupación medioambiental en el Sector Eléctrico Español. ....                    | 25           |
| 3. El Sector Eléctrico español y el medio ambiente: situación actual y perspectivas. ....                        | 29           |
| <b>CAPITULO III. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE .....</b>                                            | <b>33-51</b> |
| 1. Los combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica. ....                                          | 34           |
| 2. Incidencia de la producción de electricidad con combustibles fósiles en el medio ambiente. ....               | 35           |
| 3. Control ambiental en las centrales térmicas clásicas. ....                                                    | 37           |
| 4. El futuro de las centrales térmicas en relación con el medio ambiente. ....                                   | 50           |
| <b>CAPITULO IV. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE .....</b>                                      | <b>53-66</b> |
| 1. El impacto ambiental de la energía hidroeléctrica .....                                                       | 55           |
| 2. Integración de las instalaciones hidroeléctricas en el entorno natural. ....                                  | 65           |
| <b>CAPITULO V. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE .....</b>                                             | <b>67-92</b> |
| 1. La generación eléctrica nuclear y el medio ambiente. ....                                                     | 68           |
| 2. El impacto medioambiental en la legislación nuclear española. ....                                            | 68           |
| 3. Aspectos básicos de la contaminación radiactiva. ....                                                         | 70           |
| 4. Las fuentes de impacto ambiental de las centrales nucleares. ....                                             | 75           |
| 5. Los efluentes gaseosos y líquidos. ....                                                                       | 78           |
| 6. Los programas de vigilancia radiológica ambiental. ....                                                       | 82           |
| 7. Los residuos radiactivos sólidos. ....                                                                        | 84           |
| 8. Las actividades de investigación y desarrollo medioambiental en<br>relación con las centrales nucleares. .... | 89           |

|                                                                                                 |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>CAPITULO VI. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE</b>    | <b>93-103</b>  |
| 1. Las instalaciones de transporte y distribución.                                              | 94             |
| 2. Líneas de transporte y distribución.                                                         | 94             |
| 3. Subestaciones de transformación.                                                             | 98             |
| 4. Redes de baja tensión y centros de transformación.                                           | 100            |
| 5. Los campos electromagnéticos.                                                                | 101            |
| 6. Investigación medioambiental en relación con instalaciones de transporte y distribución.     | 103            |
| <b>CAPITULO VII. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO</b>       | <b>105-116</b> |
| 1. Los residuos industriales en las instalaciones eléctricas.                                   | 106            |
| 2. Perspectivas en la gestión de residuos industriales.                                         | 114            |
| 3. La investigación sobre la gestión de residuos industriales en el Sector Eléctrico.           | 116            |
| <b>CAPITULO VIII. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE</b>                               | <b>117-132</b> |
| 1. Energía solar térmica.                                                                       | 119            |
| 2. Energía solar fotovoltaica.                                                                  | 120            |
| 3. Energía eólica.                                                                              | 122            |
| 4. Energía geotérmica.                                                                          | 124            |
| 5. Biomasa.                                                                                     | 126            |
| 6. Energía minihidráulica.                                                                      | 128            |
| 7. La energía de los océanos.                                                                   | 130            |
| <b>CAPITULO IX. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE</b> | <b>133-142</b> |
| 1. Combustión en lecho fluido.                                                                  | 135            |
| 2. Calderas de lecho fluido burbujeante.                                                        | 135            |
| 3. Calderas de lecho fluido circulante.                                                         | 136            |
| 4. Sistemas de combustión en lecho fluido a presión.                                            | 138            |
| 5. La planta de demostración de Escatrón.                                                       | 138            |
| 6. Gasificación del carbón y otros combustibles.                                                | 139            |
| 7. Gasificación y ciclo combinado.                                                              | 140            |
| 8. Planta de ELCOGAS en Puertollano.                                                            | 140            |
| <b>CAPITULO X. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE</b> | <b>143-156</b> |
| 1. Cogeneración.                                                                                | 144            |
| 2. Ciclos combinados de gas natural.                                                            | 146            |
| 3. Células de combustible.                                                                      | 150            |
| <b>ÍNDICE TEMÁTICO</b>                                                                          | <b>158-159</b> |
| <b>FAUNA Y FLORA ESPAÑOLA</b>                                                                   |                |
| Bosque Mediterráneo.                                                                            | 10-38          |
| Bosque Atlántico                                                                                | 39-59          |
| Estepas y Páramos                                                                               | 60-75          |
| Ríos y Humedales                                                                                | 76-104         |
| Islas y Costas.                                                                                 | 106-122        |
| Alta Montaña                                                                                    | 123-156        |

# PRESENTACIÓN

La electricidad es una forma de energía totalmente limpia en su uso final que resulta hoy imprescindible en buena parte de las principales actividades humanas y constituye un motor esencial del desarrollo científico, técnico, económico y social.

No obstante, para que el consumidor final pueda utilizarla, la electricidad ha de ser previamente generada, transportada y distribuida. Y la realización de estas actividades, que son propias de las empresas eléctricas, da lugar a determinados impactos sobre el entorno natural.

Las empresas eléctricas españolas, conscientes de su responsabilidad con la sociedad, aplican los conocimientos existentes y las tecnologías disponibles para evitar o minimizar el efecto de la producción, transporte y distribución de energía eléctrica sobre el medio ambiente.

El contenido esencial de la presente publicación es precisamente exponer la trayectoria medioambiental del sector eléctrico español, es decir, las iniciativas que ha puesto en marcha, especialmente a lo largo de los últimos años, en relación con la defensa y protección del entorno natural.

En ella, y tras una serie de consideraciones previas sobre el concepto de medio ambiente y su asunción por parte del sector eléctrico, se analiza cómo están aplicando actualmente las empresas eléctricas españolas los criterios medioambientales en el aprovechamiento de las diversas fuentes energéticas que es preciso utilizar para producir electricidad, y en las operaciones de transporte y distribución necesarias para llevar esta forma de energía hasta el consumidor final.



# CAPÍTULO 1

---

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

---

# I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

## 1. TRABAJANDO CON LA NATURALEZA

Desde una perspectiva histórica, las percepciones y conceptualizaciones del hombre sobre su entorno natural han pasado por diferentes fases, dentro de una tendencia evolutiva más o menos intensa. De un modo simplificado, cabe afirmar que se enmarcan entre la concepción de la naturaleza como un elemento hostil que tenían los hombres primitivos y la consideración actual de la misma como un patrimonio que es necesario conservar y proteger.

En esencia, los cambios en el posicionamiento del hombre ante la Naturaleza tienen su raíz y su sentido lógico en cada momento en la evolución o cambio sociocultural. Es decir, en los conocimientos, sistema de valores y sensibilidades, y pautas de comportamiento que son característicos de cada época y cada pueblo.

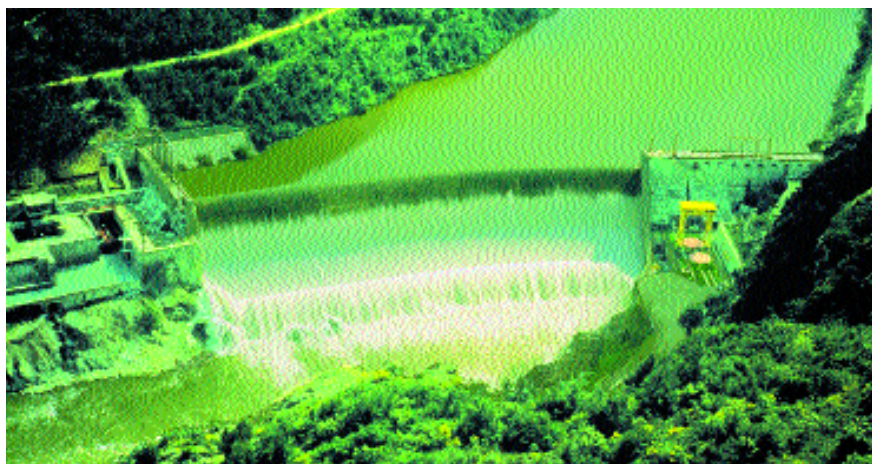
Todo ello, como el propio conocimiento, forma parte de un proceso acumulativo, cuyos orígenes se pierden en los albores de la historia del hombre y que, dentro de su evolución, configura en cada momento el concepto y contenido de lo que se concibe como modernidad.

De acuerdo con el estado de evolución social y cultural, entendido como conocimientos, valores y sensibilidades, y pautas de comportamiento, cada época, cada pueblo y cada persona elaboran un sistema de percepción, conocimiento, análisis y diagnóstico de la realidad -- realidad siempre compleja, cuyas facetas se hallan estrechamente interrelacionadas --, así como el diseño de soluciones y estrategias de actuación para el logro de unos objetivos característicos. Todo ello condiciona tanto las concepciones como los posicionamientos del hombre ante el entorno natural.

Así, desde una perspectiva histórico-temporal, se ponen de manifiesto las siguientes concepciones de la Naturaleza. En un primer momento, para el hombre la Naturaleza

es aquello de lo que se vive; aquello que provee de los recursos necesarios para la subsistencia humana. Más adelante, durante la época de fuerte desarrollo industrial que se inicia a comienzos del siglo XIX, el hombre justificará la utilización de la Naturaleza en función de ese desarrollo. En los años sesenta, surgirá una posición militante e ideológica de defensa de la Naturaleza, entendida como algo necesario para la supervivencia de la especie humana. Por último, ha emergido una posición menos ideológica, que se centra en la convivencia con la Naturaleza, considerada ésta como algo de lo que el ser humano forma

*La naturaleza, es necesaria para la supervivencia*



*Las centrales hidroeléctricas forman ya parte de nuestro paisaje.  
Central hidroeléctrica El Pastoral*

*Fauna y Flora Españolas    Bosque Mediterráneo*



*Cigüeña negra*



*Navalcán (Toledo)*



*Lince ibérico*

parte y cuya potencialidad hay que desarrollar. Algo en lo que la ciencia encuentra inspiración para mejorar el bienestar de la humanidad.

Dentro de este proceso evolutivo, tanto cultural como social, se llega a la concepción de que "todo, en el mundo y en la vida, está interrelacionado y debe ser comprendido e interpretado con el resto". Esta concepción abierta al entorno, tanto nacional como internacional, considera que los "avances tecnológicos son algo positivo que puede contribuir al bienestar y a la solución de los problemas de la Humanidad en colaboración con la Naturaleza". Es decir, que, en el estado actual de la evolución cultural, las expectativas de bienestar se centran en una colaboración no agresiva entre la tecnología -- como expresión de conocimientos -- y la Naturaleza, considerada como una fuente de inspiración de la Ciencia.



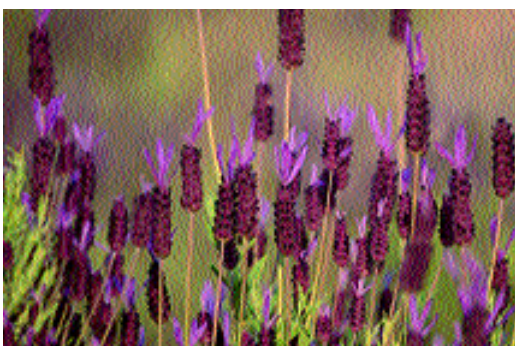
*El aprovechamiento de los recursos hídricos conlleva la realización de otras infraestructuras. Entorno de la central hidroeléctrica de Anzánigo*

De la combinación de concepciones culturales y sociales acerca de la Naturaleza, la Ciencia y la Tecnología y el Desarrollo Económico surgen las siguientes conceptualizaciones: preindustrial: vivir de la Naturaleza; industrial: vivir al margen de la Naturaleza; ecológica: vivir en la Naturaleza, e hipernatural: vivir con la Naturaleza. Esta última constituye la vanguardia del cambio sociocultural. Las expectativas de bienestar se centran en mayor medida en la tecnología y en la ciencia, que en la Naturaleza, tratando de lograr una interpelación armoniosa entre Naturaleza y Desarrollo.

De esta interpelación se derivan concepciones sociales, técnicas y legales del concepto de medio ambiente, a la vez que sistemas de percepción, conocimiento, análisis y diagnóstico de la realidad, así como diseño de soluciones y estrategias de actuación para el logro de objetivos compartidos por la Sociedad.

La inserción del concepto de medio ambiente en la cultura de cada época, cada pueblo y cada persona permite la comprensión y el adecuado tratamiento del mismo. Es decir, a un mayor nivel cultural, dentro del proceso acumulativo de los conocimientos, le corresponden mayores posibilidades de utilización de la Ciencia y la Tecnología en favor de la armonización entre Desarrollo Económico y Medio Ambiente. Esto es lo que permite pasar de **vivir de la Naturaleza** a **vivir con la Naturaleza**. Dos situaciones que se dan en el mundo actual y que demuestran que ni la calidad de vida, ni la medioambiental, son mejores en aquellos pueblos que siguen viviendo de la Naturaleza, que en los que viven con la Naturaleza.

*Vivir con la naturaleza es convivir con ella*



*Cantueso*



*Hoces de Riaza (Segovia)*



*Gineta*



# I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

## 2. CONCIENCIA MEDIOAMBIENTAL

A través de la evolución sociocultural, se llega a la concreción del concepto de Medio Ambiente, su valoración y su dimensionamiento, en términos técnicos, económicos y legales.

Como es lógico, los países que lideran el desarrollo económico y tecnológico han sido los primeros en percibir el fenómeno medioambiental y en adoptar decisiones en relación con él. El Reino Unido, cuna de la Revolución Industrial, constituye uno de los primeros ejemplos en cuanto a este tipo de preocupaciones. La Alkali Act de 1906, la Electric Lighting Act de 1909, la Electric Supply Act de 1919 y la Clean Air Act de 1956 establecieron normas que trataban de limitar el impacto de determinadas actividades industriales o domésticas -- como la calefacción -- sobre el Medio Ambiente.

Lo acontecido en el Reino Unido se fue propagando a otros países y comenzó así a tomar cuerpo en la sociedad una conciencia medioambiental que, en principio, se mostraba interesada en mejorar la calidad del aire y del agua sólo en la medida en que ello repercutía en la salud humana y, por añadidura, en la conservación de determinados materiales.

El concepto de medio ambiente fue así adquiriendo una dimensión global. Y, como consecuencia de esta progresiva toma de conciencia, una Conferencia Internacional celebrada en Estocolmo en 1970 abordó por primera vez a fondo la cuestión medioambiental. Esta Conferencia puede ser considerada como el origen de la preocupación mundial por tomar decisiones y adoptar medidas en común, de manera coordinada, para paliar los problemas medioambientales.

No obstante, los años sesenta habían sido ya escenario del inicio de la legislación medioambiental, de la normalización de los procedimientos de medida de contaminantes y de la incorporación de los conocimientos científicos y de los desarrollos tecnológicos al control medioambiental y a la minimización del impacto de las actividades industriales sobre el entorno. En esta década empezaron también a aparecer textos básicos en áreas medioambientales específicas que reflejaban su gran complejidad y su carácter interdisciplinar.

En 1972, el Club de Roma publicó el libro "Los límites del crecimiento", en el que se expone con claridad que el deterioro medioambiental, considerado

*El concepto de Medio Ambiente se plantea por primera vez en la Conferencia de Estocolmo*



*Los embalses regulan el agua de los ríos procedentes de las lluvias y de los deshielos. Central hidroeléctrica de Baños*

## Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Flora de la dehesa*



*Alcornoque*



*Buitre negro*

en toda su dimensión, será uno de los factores limitantes del crecimiento y desarrollo mundial.

Asimismo, las actuaciones medioambientales fueron incorporadas en los años setenta a los programas de acción de Gobiernos y de diversas industrias. Sirva de ejemplo el desarrollo normativo de carácter progresista que tuvo lugar en los Estados Unidos a partir de la Clean Air Act de 1970. Asimismo, la Comunidad Europea, en la reunión de Jefes de Estado y de Gobierno celebrada en París en 1972, acordó la adopción de medidas para luchar contra la contaminación, decisión que dio un gran impulso a la normativa medioambiental comunitaria. Sin embargo, según reconoce un documento de la propia Comunidad, "prácticamente nadie era consciente de la importancia que iba a adquirir el problema, en particular debido a sus aspectos internacionales".

En el año 1979 se detectaba ya el reconocimiento generalizado de que la temática medioambiental tenía un carácter transnacional y ha de contemplarse desde una perspectiva mundial. Este hecho quedó claramente reflejado en la firma, en noviembre de ese mismo año, del Convenio de Ginebra de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas sobre transportes transfronterizos a gran distancia de los contaminantes del aire.

### 3. EL MEDIO AMBIENTE EN EL MARCO COMUNITARIO

En el ámbito de la Comunidad Europea, la política medioambiental se concreta fundamentalmente en los cinco programas de acción que se han desarrollado desde 1972 hasta la fecha. El primero tenía como objetivo la lucha contra la contaminación. El segundo fijó sus metas en el aprovechamiento racional de los recursos y la ordenación del territorio. El tercero se marcó como fines principales la integración de la política medioambiental en las demás políticas, los procedimientos de evaluación del impacto ambiental, la reducción de la contaminación en el origen, la contaminación en el Mediterráneo y la cooperación con los países en desarrollo. El cuarto dirigió sus actuaciones a un enfoque preventivo, basado en normas de alto nivel y en el abandono de la costumbre de reaccionar sólo una vez que han surgido los problemas. El quinto programa, aprobado en diciembre de 1992, se marcó como objetivo conjugar la protección del medio ambiente con un desarrollo sostenido. El sexto programa de acción que está siendo elaborado en la actualidad a la vista de los resultados obtenidos en el programa anterior.



*Espectacular paraje en el que se ubica la central hidroeléctrica de Camarmería*

*1979 el Medio Ambiente se contempla desde una perspectiva mundial*



*Sierra de San Pedro (Badajoz)*



*Campo Arañuelo (Cáceres)*



*Sapo de espuelas*



## I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

En relación con el quinto programa, conviene recordar el contenido del informe Brundtland de 1987, que pretendía exponer las estrategias ambientales que son necesarias a largo plazo para lograr un desarrollo sostenible, abordando los principales problemas ambientales a nivel mundial y proponiendo medidas y líneas de actuación para el futuro, así como la cooperación entre los países desarrollados y las naciones en vías de desarrollo.

Cabe señalar también que este informe consolidó el término de **desarrollo sostenible**, reconociendo que es de difícil cuantificación. Este concepto incorpora, a los componentes socioeconómicos tradicionales del desarrollo, la condición de mantener el equilibrio ecológico. La necesidad de asegurar el desarrollo sostenible se ha de aplicar en todos los países, cualquiera que sea su nivel de desarrollo.

Esta idea ha sido incorporada en toda su complejidad al quinto programa de acción comunitaria, que hace variar de forma sustancial las premisas en las que se fundamentaron los cuatro anteriores. Puntos básicos de este quinto programa eran los siguientes:

- Centrar la atención en las actividades y agentes que pueden agotar los recursos naturales y, por consiguiente, perjudicar el medio ambiente.
- Asegurar el bienestar y el crecimiento a las generaciones futuras, modificando las tendencias y prácticas que vayan en detrimento del medio ambiente.
- Modificar los comportamientos sociales actuales en línea con un espíritu de responsabilidad compartida.

*Desarrollo sostenible, la condición de mantener el equilibrio ecológico*



*La central hidroeléctrica de Espot da vida a toda una comarca*

- Ampliar de forma significativa el rango de los instrumentos que se han de aplicar simultáneamente para solucionar problemas particulares.

### 4. EL MEDIO AMBIENTE TRAS LA CONFERENCIA DE RÍO DE 1992

La principal conclusión de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro (Brasil) en junio de 1992, fue la aceptación generalizada de que el principio del desarrollo sostenible se ha de llevar a la práctica en las políticas y acciones relacionadas con todos los sectores de la economía.

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Sierra Morena (Jaén)*



*Peonía*



*Buho real*

Esta conclusión supone una nueva forma de pensar y un profundo cambio respecto de actuaciones anteriores, ya que el medio ambiente pasa así a tener la consideración de recurso agotable. En consecuencia, es preciso prestarle la debida atención, sin contraposición y en pie de igualdad con la que se otorga al desarrollo económico, y sobre la base de un sentido de anticipación a largo plazo de las consecuencias que se puedan derivar de cualquier política.

El concepto del desarrollo sostenible incorpora una serie de elementos cuya comprensión resulta esencial para entender su alcance.

- El reconocimiento de que el bienestar no depende solamente del crecimiento económico, sino también de su calidad.
- El carácter cada vez más internacional, planetario en ocasiones, de los problemas medioambientales, lo que obliga a no ignorar las consecuencias de las políticas nacionales sobre la colectividad considerada en su sentido más amplio.
- La consideración del largo plazo en la toma de decisiones, de modo que se prevean soluciones para asegurar la disponibilidad de recursos naturales con los que satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Para ello, resulta necesario atender a la conservación de los patrimonios que la Humanidad tiene a su alcance, a fin de que puedan contribuir al fortalecimiento del bienestar presente y futuro.

Pese a las fuertes polémicas que tuvieron lugar en la Conferencia de Río, a las que no fueron ajenos intereses políticos y económicos nacionales muchas veces contrapuestos, el tema del medio ambiente ha recibido con ella un impulso que sienta las bases del concepto -- también nuevo para muchos -- de ética medioambiental. Un concepto que no es sólo aplicable a los Estados y a sus políticas, sino también al comportamiento de empresas e individuos, modificando así antiguos modelos de producción y consumo. Los estilos de vida y las estructuras de funcionamiento habrán de ser, pues, renovados de forma progresiva y con objetivos cada vez más globales y solidarios.

El mejor ejemplo de la constatación de la globalidad de un problema ambiental es sin duda el desarrollo de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que surgió en la Conferencia de Río y mediante la cual los países industrializados se compromie-



*Embalse y central hidroeléctrica de La Sarra*

*1992: La  
Conferencia de Río  
fija las pautas de  
comportamiento*



*Oruga de la mariposa del madroño*



*Culebrilla ciega*



*Lirio silvestre*



## I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

tieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este esfuerzo común internacional se ha plasmado en la firma del Protocolo de Kioto en diciembre de 1997, que supone la aparición del primer instrumento legislativo de carácter vinculante para los firmantes y mediante el cual los países industrializados se comprometen a reducir un 5,2% sus emisiones de gases de efecto invernadero en el periodo 2008-2012 con respecto a los niveles de 1990, y establecen para ello una serie de mecanismos encaminados a la reducción más efectiva posible creando mercados de permisos de emisión, y toda una infraestructura destinada a la obtención de créditos de emisión a través de la transferencia de tecnología limpia principalmente a países en desarrollo y con economías en transición. Cuando sea ratificado este protocolo, supondrá un hito en la forma de abarcar los problemas ambientales de carácter global.

### 5. LA EVOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES

Al igual que la preocupación social por el entorno natural, los propios problemas medioambientales han experimentado una importante evolución y han pasado por diversas etapas.

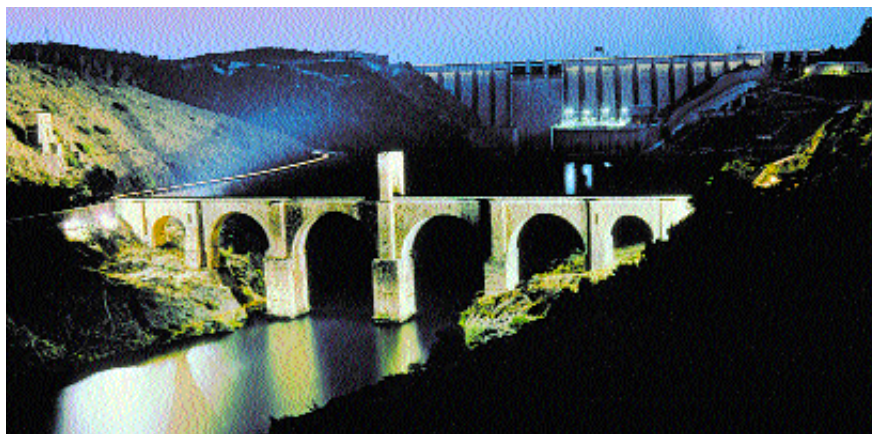
*1997: Protocolo de Kioto, un compromiso para reducir el efecto invernadero*

En un principio, la problemática medioambiental se planteaba casi exclusivamente en las grandes urbes y en los centros de actividad industrial. Es decir, la protección del entorno -- o, como fue llamada en su inicio, la lucha contra la contaminación -- se esbozaba con carácter local y se reducía fundamentalmente a tres aspectos concretos: el aire, el agua y los residuos.

Los problemas de carácter local ocupan el primer plano del interés medioambiental durante todo el siglo XIX y la mitad del siglo XX, y se pueden definir como problemas de salubridad. En otras palabras, se trataba esencialmente de mejorar las condiciones sanitarias de

las ciudades, de los hogares y de los centros de trabajo. Al calor de este estado de opinión se promovieron las primeras instalaciones integradas de alcantarillado, las redes de suministro de agua a los hogares, los sistemas de potabilización y las primeras recogidas de residuos (basuras); es decir, lo que hoy denominamos servicios de limpieza y suministro.

Por otro lado, y en cuanto a los lugares de trabajo, comenzó la instalación de servicios de ventilación, la extracción de aguas y la recogida de aguas sanitarias y de vertidos de tratamiento



*Vista nocturna del puente de Alcántara, sobre el Tajo, con la central hidroeléctrica José María Oriol al fondo*

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Aguila Imperial Ibérica*



*Ciervos*



*Sierra de Hornachos (Badajoz)*



para su expulsión conjunta. Sin embargo, los residuos sólidos y líquidos no eran aún tratados. No se pensaba en la necesidad de almacenarlos de forma controlada, ni mucho menos en su posible utilización.

Los hogares se situaban mayoritariamente alrededor de las instalaciones industriales. Y en las grandes urbes se establecieron factorías que dieron lugar a los "cinturones industriales". En este sentido, es sintomático que fuera en Londres, con su famoso "puré de guisantes" (smog= smoke fog), donde se produjeran, durante la primera mitad del siglo XX, las primeras protestas que dieron lugar a la adopción de medidas en relación con los combustibles utilizados y las partículas emitidas. Estas protestas se referían, en general, a la irrespirabilidad del aire de la ciudad debida a su alto contenido de dióxido de azufre y partículas. Como consecuencia de las mismas, se empezaron a utilizar combustibles menos contaminantes e incluso se llegaron a poner en funcionamiento, en los años 30, instalaciones de desulfuración en las centrales térmicas de Battersea y Fulham.

Esta situación no se dio exclusivamente en Londres, sino que se fue repitiendo en otras ciudades. Y así, en el segundo tercio del siglo XX, se promovió en muchas de ellas el uso de carbones de calidad en los hogares y la instalación de filtros para eliminar las partículas en los centros industriales.

Una vez afrontados los problemas medioambientales de carácter local, comenzaron a tener mayor protagonismo otros cuya importancia excedía las zonas estrictamente urbanas y que alcanzaban carácter regional. En tales casos, la acción de los contaminantes se trasladaba a lugares próximos, pero diferentes, a los centros donde eran generados.

A partir de los años 30 -- y durante casi medio siglo --, los problemas medioambientales adquirieron una perspectiva regional que venía condicionada por un desarrollo industrial en el marco del cual las industrias tendían a localizarse cerca de los lugares donde se encontraban las materias primas y, por consiguiente, en espacios antes reservados a la Naturaleza. Por otro lado, la sociedad iba demandando mayores cotas de bienestar y calidad de vida, y se hacía más y más consumista, lo que conllevaba una cierta preocupación por la protección de la Naturaleza, ya que ésta aparecía asociada tanto al bienestar como al disfrute del ocio.

Por añadidura, algunos acontecimientos dramáticos, como los episodios de contaminación



*Entorno de la central hidroeléctrica de Saucelle*

*A mediados del siglo XX los cinturones industriales llevaron la contaminación a los centros urbanos*



*Semillas de la peonía*



*Arribes del Duero (Salamanca-Zamora)*



*Gran pavón nocturno*

## I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

en el valle del Mosela (Bélgica) en 1930, en Donora (Pensilvania) en 1948, en Londres en 1952 o las nubes oxidantes de Los Angeles, etc. contribuyeron a incrementar la inquietud de ciertos grupos sociales por la calidad del aire. Además, la ciencia meteorológica conoció un gran desarrollo y aparecieron los primeros estudios sistemáticos sobre difusión atmosférica; la medicina permitió fijar los umbrales de daño de los contaminantes en las vías respiratorias de los seres humanos; la química desarrolló métodos de detección y depuración de las emisiones, y el resto de las ciencias fue asimismo contribuyendo al conocimiento de los problemas ambientales.

Este conjunto de factores produjo la aparición de lo que más adelante se daría en llamar las ciencias ambientales. El primer problema que abordaron fue el de la contaminación atmosférica, centrado en dos compuestos: las partículas y los óxidos de azufre. Los primeros trabajos metodológicos se centraron en la determinación de dichos contaminantes. Como medida preventiva, se empezaron a construir altas chimeneas para dispersar y diluir los contaminantes en la atmósfera, con el objetivo de disminuir la contaminación a nivel local, si bien no se tuvo en cuenta que esta dilución podía transferir la contaminación a nivel regional.

*La meteorología  
aportó  
conocimientos  
sobre la difusión  
atmosférica*

A continuación, y como consecuencia del smog fotoquímico de Los Angeles, se comenzó a considerar el efecto de los óxidos de nitrógeno. Para atenuar el impacto de estos gases se procedió también a su dilución mediante dispersión atmosférica. Simultáneamente, y como continuación de los sistemas de desulfuración instalados en las centrales térmicas británicas de Battersea y Fulham, se desarrollaron diversos procedimientos de eliminación de los óxidos de azufre por vía seca, húmeda y mixta. Y unos años más tarde se iniciaron los de desnitrificación, actuando en la combustión o en la corriente de gases de descarga. Al final de este período, existían ya sistemas comerciales capaces de reducir en un alto porcentaje las emisiones de dichos gases.

Paralelamente a estas realizaciones comenzaron los tratamientos de las aguas residuales industriales y, después, de las urbanas. El desarrollo que experimentaron fue muy rápido; tanto, que al final de esta etapa se disponía de técnicas suficientes para conseguir vertidos inocuos en la mayor parte de las instalaciones industriales.

El tratamiento de los residuos, que al principio se reducía a los urbanos, recibió un gran impulso que se tradujo en el control y gestión de los vertidos. Al final del período se concedió a esta cuestión una prioridad máxima, ya que la eliminación de los contaminantes líquidos y gaseosos transfería parte del



*Vista general de la central hidroeléctrica de San Esteban*

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Águila calzada*



*Flor de la genista*



*Topillo*



poder contaminante de éstos a los residuos sólidos. Comenzó así la era del control integrado de los residuos, tanto urbanos como industriales.

También pertenece a esta época el inicio de la toma de conciencia sobre la necesidad de proteger los espacios naturales y de considerar el medio ambiente en toda su integridad física y biológica. Y así, comenzaron a desarrollarse métodos para realizar los primeros estudios de evaluación del impacto ambiental, que fueron ya aplicados, al final de la etapa, en todos los nuevos proyectos de instalaciones industriales.

Por otro lado, al entenderse que el medio ambiente es una integración de diversas áreas de conocimiento, a mediados de esta etapa se empezó a desarrollar un amplio cuerpo legislativo para regular las actividades con el fin de proteger el entorno.

En definitiva, este segundo período se puede considerar como el despegue de los estudios medioambientales y el del inicio de la aplicación de tecnologías de producción limpia en un buen número de actividades industriales. La problemática medioambiental comenzaba así a ser abordada con un enfoque integrado.

La tercera etapa se inicia cuando algunos de los problemas que se venían anunciando desde años anteriores adquieren una dimensión global, es decir, afectan a varios países o al mundo en su conjunto. Estos problemas globales -- como el efecto invernadero y el consiguiente cambio climático ó calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono, la lluvia ácida, la preservación de los mares interiores, etc. --, se abordan ahora a través de convenios a escala mundial suscritos por numerosos países. Como resultado de ello, los Estados acuerdan promover acciones encaminadas a preservar el planeta Tierra y tomar las medidas legislativas, técnicas y económicas necesarias para tal fin.

En la actualidad, el informe Medio Ambiente en Europa: segunda evaluación elaborado por la Agencia Europea de Medio Ambiente en 1998 identifica los 12 problemas medioambientales clave en Europa y su evolución desde la primera evaluación en 1991. Estos problemas son los derivados del cambio climático, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación, ozono troposférico, productos químicos, residuos, biodiversidad, aguas continentales, medio ambiente marino y de litoral, degradación del suelo, medio ambiente urbano y riesgos naturales y tecnológicos. Como se explica más adelante, la industria eléctrica juega un importante papel en el tratamiento y minimización de algunos de ellos.



*La mayor parte de las centrales hidroeléctricas se encuentran en lugares de gran belleza, como la de Endarla, en Susqueda*

*Se aplican tecnologías de producción limpias en muchas actividades industriales*



*Madreselva*



*Murciélagos rateros*



*Lagarto ocelado*



## I. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PERCEPCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

### 6. EVOLUCIÓN DE LA PERCEPCIÓN MEDIOAMBIENTAL EN LA EMPRESA

La empresa, entendida como entidad que tiene por actividad fundamental la producción de bienes, surgió con el desarrollo industrial del siglo XIX.

En un principio, las empresas industriales consideraron que el medio ambiente era un bien inagotable y, por consiguiente, lo trataron como una fuente de recursos a partir de la cual se podía y debía obtener productos al mínimo coste. Por otro lado, las condiciones de salubridad en el trabajo dejaban mucho que desear en aquella época. No obstante, los desarrollos técnicos y la presión social hicieron posible que estas condiciones fueran mejorando, a la vez que se conseguían incrementos en la productividad. A finales del siglo XIX, existía ya una conciencia empresarial de que era necesario incluir la mejora de las condiciones laborales, mediante la aplicación de los incipientes principios de higiene en el trabajo, en las nuevas actividades industriales y en la extensión de las existentes.

*En el último cuarto del XX, el respeto por el entorno adquiere un valor ético medioambiental*

Los avances científicos y técnicos que se produjeron en la primera mitad del siglo XX hicieron que las empresas fueran depositarias de los conocimientos que había que tener en cuenta para aplicar medidas preventivas de protección del entorno. Estos conocimientos se emplearon para realizar estudios con el fin de minimizar el impacto ambiental de las nuevas instalaciones. Y de ellos se derivaron medidas correctoras.

Al principio de la segunda mitad del presente siglo, la legislación medioambiental -- en lo que se refiere a aire, agua, suelo, protección de los ecosistemas y de los trabajadores -- estaba en sus inicios. Ello dio lugar a que en muchos casos las empresas fueran por delante del desarrollo legislativo, introduciendo en sus planes de actuación, y por iniciativa propia, normas de preservación del medio ambiente.

A raíz de esta nueva situación -- que comienza en los años cincuenta y continúa, con mayor intensidad, a partir de los ochenta --, a los objetivos tradicionales de la empresa se fueron añadiendo otros nuevos, relativos a la disminución del impacto medioambiental de las actividades industriales. Ello trajo consigo un fuerte impulso a los programas de investigación y desarrollo que tratan de conjugar una producción limpia con el máximo aprovechamiento de los recursos naturales.



*Los embalses son como grandes lagos rodeados de bosques y montañas.  
Central hidroeléctrica de Albarellos*

En el último cuarto del siglo XX, el respeto inicial por el entorno se ha transformado ya en una ética medioambiental que se plasma en la aceptación, por parte de empresas o agrupaciones de empresas, de códigos de conducta o declaraciones de autocompromiso de respeto al medio ambiente. Estos códigos tienen como objetivo exponer de forma clara y concisa que la protección ambiental es una tarea empresarial tan importante como la producción de bienes. Otro de sus fines es

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Sierra de Hornachuelos (Córdoba)*



*Mantis religiosa*



*Dehesa en primavera*



dar a conocer al público que la empresa ha adquirido un compromiso, con ella misma y con la sociedad, que le puede ser exigido en todo momento.

La aceptación de un código de conducta implica que la empresa se impone dos tareas principales. En primer lugar, la puesta en marcha de un instrumento de gestión integral medioambiental. Y, en segundo lugar, la incorporación a su cultura, a todos los niveles, del criterio de respeto al medio ambiente.

La gestión integral medioambiental supone que la empresa se obliga a que el medio ambiente forme parte de su sistema de gestión total en plano de igualdad con la gestión financiera, con la gestión de la producción, etc. Este sistema de gestión, al ser de carácter horizontal, incluye todas las acciones que se han de acometer para conocer la situación de la empresa en este terreno, la definición de responsabilidades en los diferentes niveles, los flujos de información, el cumplimiento estricto de las normas medioambientales, etc. Y, asimismo, los objetivos que se han de conseguir a corto y medio plazo, y los procedimientos necesarios para controlar el grado de obtención de dichos objetivos.

Que la cultura medioambiental forme parte del quehacer empresarial supone que todo empleado sea consciente de que también él es responsable de ese compromiso empresarial. Esto significa en la práctica que los empleados, igual que conservan cuidadosamente las máquinas para conseguir su pleno rendimiento, han de tener en cuenta escrupulosamente la limpieza, la higiene y la protección medioambiental al realizar las actividades propias de su ocupación, sabiendo que contribuyen así a mejorar la calidad del entorno.

Para conseguir que esta nueva cultura impregne todos los niveles de la empresa, las grandes industrias han desarrollado planes de formación para sus empleados que abordan desde el concepto general del medio ambiente, hasta los conocimientos particulares necesarios para que su actividad sea lo más respetuosa posible con el mismo.

Por último, es conveniente indicar que en los últimos años, y a fin de cumplir con la exigencia de transparencia en la información, se ha acentuado el compromiso público de la empresa con la comunicación veraz de sus acciones de protección medioambiental. El objetivo de esta comunicación es dar a conocer a la sociedad cómo lucha la empresa contra la contaminación, cuáles los logros conseguidos y cuáles las dificultades que encuentra en la resolución de problemas específicos. Así, un número cada vez mayor de empresas publica hoy en día memorias ambientales en las que dan a conocer a la sociedad con carácter anual tanto los impactos que producen sobre el entorno como las actuaciones y logros emprendidos para paliar los mismos y su política ambiental.



*El edificio de la central hidroeléctrica de La Malva sintoniza con la rica vegetación que le rodea*

*Las grandes industrias desarrollan planes de formación profesional sobre medio ambiente, y su conservación*



*Aguila perdicera*



*Madroño*



*Grullas*

## *Fauna y Flora Españolas*

---



*Flora de la dehesa*



*Topillo*



*Culebrilla Ciega*



## CAPÍTULO 2

---

### EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

## 2. EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1. LA ENERGÍA ELÉCTRICA, UNA ENERGÍA LIMPIA

Toda actividad industrial tiene potencialmente efectos sobre el medio ambiente. La que realiza la industria eléctrica posee, sin embargo, dos particularidades: genera un producto limpio cuyo uso final por parte del consumidor no produce ningún tipo de residuo y puede dar lugar a beneficios para la protección del entorno.

Uno de los objetivos tradicionales de las compañías eléctricas es utilizar de manera óptima, desde el punto de vista económico, los recursos primarios necesarios para la producción de electricidad (agua, combustibles, etc.).

Esto significa consumir la menor cantidad de recursos primarios posible por cada unidad de energía producida, lo que implica, a su vez, generar la menor cantidad de contaminantes posible por cada kWh puesto en la red.

Por otro lado, muchas de las aplicaciones de la electricidad proporcionan beneficios medioambientales de forma directa. Así ocurre cuando se sustituye el uso de combustibles fósiles por el de electricidad en determinados usos industriales y domésticos, ya que la misma cantidad de combustible sustituido contamina más si es consumida directamente, que si es empleada en generar energía eléctrica.

La sustitución de combustibles fósiles por energía eléctrica puede tener, por consiguiente, un notable beneficio en la calidad del aire de las áreas urbanas e industrializadas. Además, el uso de la electricidad en el lugar de trabajo proporciona mejoras en las condiciones laborales, incluyendo la eliminación de problemas de contaminación en locales cerrados.

Una de las contribuciones de la electricidad a la mejora de la calidad ambiental se basa en que a un solo foco potencial de contaminación -- una central de producción de electricidad, por ejemplo -- se le pueden aplicar mejor las técnicas de eliminación o minimización de contaminantes que a varios focos de consumo final de energía.

Además, el empleo de técnicas eficientes de reducción de contaminantes en las plantas de generación eléctrica les permite a éstas consumir combustibles de alto poder contaminante con un reducido impacto ambiental, lo cual no es posible en otro tipo de instalaciones. Esto supone poder utilizar materias primas que, de otra manera, tendrían que ser desechadas.

En los comienzos del siglo XXI, el uso de la electricidad se plantea así como una necesidad, ya que la interpretación

*La electricidad es una energía limpia*



*El control y la gestión de la electricidad se realiza desde centros dotados con los medios precisos*

Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Abubilla*



*Las Villuercas (Cáceres)*



*Gamo*

moderna del concepto de medio ambiente aconseja incluir en él todos los factores que contribuyen al bienestar. En esta perspectiva, la electricidad, a través de sus múltiples aplicaciones, puede hacer una positiva contribución a la mayor calidad del medio ambiente.

Sin embargo, a pesar de que la electricidad puede ser un factor de mejora de la calidad ambiental, las actividades necesarias para su producción, transporte y distribución suponen un riesgo para el entorno natural. Las centrales térmicas de producción de energía eléctrica producen residuos sólidos, líquidos y gaseosos que hay que manejar y tratar con cuidado para evitar agresiones medioambientales. Y los aprovechamientos hidroeléctricos han de ser construidos y explotados de forma adecuada para que su impacto en el medio sea mínimo. Asimismo, las líneas y equipamientos de transporte y distribución de electricidad pueden causar impactos en el entorno natural.

El sector eléctrico es consciente de ello. En las líneas que siguen a continuación, se muestra cuál ha sido la evolución histórica de esta sensibilidad medioambiental.

## 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PREOCUPACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL

Se suele decir que la industria eléctrica nació en España en 1875, cuando se puso en servicio en Barcelona la primera central termoeléctrica para suministro de electricidad a consumidores.

A lo largo de las primeras décadas de desarrollo del sector eléctrico español, éste mostró preocupación por ciertos problemas medioambientales concretos ligados a determinado tipo de instalaciones. No obstante, no se explicitó una conciencia medioambiental global y específica, quizá porque no se habían producido en España situaciones similares a las acaecidas en el Reino Unido, donde -- como se ha mencionado en el Capítulo I de la presente publicación -- determinadas instalaciones eléctricas habían aparecido relacionadas con fenómenos de agresión ambiental. Así, las cuestiones medioambientales fueron abordadas inicialmente como problemas individuales, es decir, analizando y previniendo los efectos sobre el entorno natural de instalaciones eléctricas concretas, muy especialmente en lo que se refiere a su fase de diseño y construcción.



*La correcta explotación de los recursos hídricos propicia el desarrollo de la vegetación. Embalse de la central hidroeléctrica de Seros*

*El Sector Eléctrico español mantiene un criterio de prioridad para con el entorno medioambiental*



*Almendra en flor*



*Jaras en flor*



*Escarabajo pelotero*



## 2. EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

A partir de los años cuarenta, las centrales térmicas convencionales comenzaron a incorporar técnicas de protección ambiental, pero sin que fueran definidas líneas de atención preferente con vistas al futuro, una situación muy semejante a la de la mayor parte del resto de los países del entorno. Estas técnicas iniciales de protección afectaban fundamentalmente al tratamiento de las aguas residuales y a la emisión de partículas. Los equipos que se empleaban entonces en España eran de una eficacia equivalente a los que se utilizaban en instalaciones similares de otros países con mayor nivel de desarrollo.

En los años cincuenta, técnicos españoles adquirieron formación en centros extranjeros sobre los últimos avances aplicables al sector eléctrico, tendencia que se acentuó en la siguiente década. Estos contactos internacionales permitieron la integración de técnicos de las empresas eléctricas españolas en organismos supranacionales, facilitando el intercambio de experiencias y el conocimiento de métodos para abordar de manera sistemática la solución de los problemas medioambientales. Entre los primeros temas que fueron objeto de atención, cabe citar las emisiones de gases y partículas producidas en la combustión de combustibles fósiles y el tratamiento de aguas residuales.

*Las centrales  
térmicas utilizan  
diversas técnicas  
para la eliminación  
de residuos*

En la década de los sesenta, se empleaba ya como técnica habitual la eliminación de partículas mediante precipitadores electrostáticos. Estos equipos fueron siempre incluidos en las nuevas instalaciones; y, en las que ya existían, sustituyeron progresivamente a los precipitadores mecánicos. Además, mejoraron con el tiempo los rendimientos de separación y, en ciertos casos, se realizaron investigaciones para hacerlos más eficaces mediante la inyección de gases ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ).

Por lo que se refiere a las emisiones gaseosas, se incorporó a la explotación de las centrales térmicas la preocupación por conocer su cuantía y el nivel de calidad del aire en el entorno de las mismas. Con este motivo, se realizaron mediciones discontinuas de emisiones e inmisiones, las cuales condujeron en algunos casos a que las emisiones se midieran finalmente de forma periódica y se instalaran redes incipientes de control y vigilancia de la calidad del aire.



*Montañas nevadas enmarcan la central hidroeléctrica de Sallent*

En esta misma época, los proyectos de nuevas instalaciones comenzaron a incluir la determinación de la calidad del aire de fondo y el cálculo de la altura geométrica de las chimeneas de acuerdo con metodologías empleadas a nivel internacional, como por ejemplo, la de la EPA (Environmental Protection Agency) americana.

Junto a estas iniciativas y experiencias, puede afirmarse que la primera activi-

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Cervatillo con su madre*



*Olivares (Jaén)*



*Amapola*

dad del sector eléctrico que consideró en profundidad y de manera integral los requisitos medioambientales, tanto en las fases de proyecto y construcción de las instalaciones, como en la de explotación, fue la producción de energía eléctrica de origen nuclear, actividad que se inició en España en los años sesenta. La inclusión de estos requerimientos en los proyectos se canalizó a través de la entonces llamada Junta de Energía Nuclear (JEN). Estos requisitos eran básicamente los que se exigían en Estados Unidos a las centrales nucleares.

En definitiva, se suele considerar a los años sesenta como la etapa de auténtica incorporación de los planteamientos medioambientales a las instalaciones del sector eléctrico. Cabe señalar, en este sentido, que la industria eléctrica ha sido pionera en España en la realización de estudios sobre el impacto ambiental de su actividad. Y que tal actitud fue asumida por iniciativa propia y voluntaria, ya que en esa época -- salvo para las centrales nucleares -- no existían en España requerimientos medioambientales oficiales y únicamente se tomaban como referencia las exigencias existentes a nivel internacional. Es conveniente recordar que durante los años sesenta, dada la escasa normativa que había al respecto, el sector eléctrico, trabaja en coordinación y bajo la orientación de la Administración en materia medioambiental.

En los años setenta, y asimismo por iniciativa propia, el sector eléctrico comenzó a realizar estudios de impacto ambiental en las nuevas centrales térmicas y nucleares. En estos estudios ya se contemplaban de forma integrada todos los aspectos relacionados con el medio ambiente, es decir, el medio atmosférico, el medio hídrico, el nivel sonoro, el estado ecológico y el estado socioeconómico.

En esta década no se consideraba aún que las centrales hidroeléctricas, las subestaciones y las líneas de transporte y distribución afectaran de manera notable al entorno. Sólo a finales de la misma se iniciaron los primeros estudios sobre el impacto ambiental de estas instalaciones.

Esta época fue asimismo escenario de un cierto desarrollo legislativo sobre medio ambiente. Así, en 1972 se aprobó la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico y en 1975 el Decreto 833 que desarrolla diversos aspectos de la misma. También se aprobaron varias Resoluciones que obligaban a efectuar estudios básicos de impacto ambiental, si bien en ellos la componente ecológica era aún escasa. Asimismo, se dictaron normas particulares para regular la calidad de los vertidos líquidos que incluían la contaminación térmica.



*En la construcción de las centrales hidroeléctricas, se procura mantener una estética acorde con el entorno*

*En 1972: España  
aprueba la Ley de  
Protección del  
Ambiente  
Atmosférico*



*Jabalí*



*Pinar de La Algaída (Cádiz)*



*Carraca*



## 2. EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

Un mayor desarrollo legislativo se produjo en los años ochenta, con la aparición de la Ley de Aguas, la Ley de Residuos Tóxicos y Peligrosos, la Ley de Costas, etc., y sus respectivos Reglamentos y Disposiciones. Además, la incorporación de España a la Comunidad Europea el 1 de enero de 1986 hizo que las disposiciones legislativas medioambientales se vieran fuertemente potenciadas hasta el nivel actual, en que existe una ingente normativa en la materia.

Finalmente, cabe señalar el importante papel desempeñado en el campo de la investigación medioambiental por el sector eléctrico. Dicha investigación, que se había iniciado en los años sesenta, experimentó un notable impulso con la puesta en marcha, en 1980, del Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico Electrotécnico (PIE) -- inicialmente llamado Programa de Investigación de UNESA (PIU).

Las líneas generales que ha seguido esta investigación en el campo del medio ambiente son cuatro: prevención de la contaminación, desarrollo de técnicas de minimización y reducción de contaminantes, desarrollo de equipamientos de control y medida de emisión e inmisión, y desarrollo de nuevas tecnologías limpias para la producción de electricidad.

La primera de las citadas, prevención de la contaminación, es una línea de investigación básica para minimizar los efectos sobre el medio ambiente. Entre sus campos de actuación cabe destacar la evaluación de recursos, las guías metodológicas de evaluación del impacto ambiental, los estudios específicos de impacto ambiental, y la gestión ambiental de la producción, transporte y distribución de energía eléctrica.

Por su parte, las técnicas de minimización y reducción de contaminantes van dirigidas a las unidades convencionales de producción de energía eléctrica en las que pueden ser necesarias actuaciones paralelas para minimizar el impacto medioambiental. Su ámbito de actuación incluye procesos de caracterización y perfeccionamiento del combustible, transporte y almacenamiento, aditivos, modificaciones en caldera para disminución de las emisiones de NOx y de escorias, aditivación en

caldera para disminución del SO<sub>2</sub>, sistemas de depuración de SO<sub>2</sub>, NOx y cenizas de los gases de combustión, tratamiento, disposición y utilización de residuos sólidos y subproductos, desarrollo de modelos matemáticos para la emisión e inmisión de contaminantes, efectos biológicos, socioeconómicos, etc., desarrollo de conocimientos de química atmosférica y sobre meteorología y transporte de contaminantes.

En cuanto a la tercera línea de investigación, equipamiento para el control y medida de contaminantes, es preciso tener en cuenta que España depende todavía en un elevado porcentaje de la tecnología



*Central térmica de Narcea, en la cuenca minera asturiana*

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Bellotas de encina*



*P. Natural de Monfragüe (Cáceres)*



*Pollos de milano negro*



extranjera en esta materia. Su objetivo es disponer de las técnicas, métodos y conocimientos necesarios para desarrollar este equipamiento a nivel nacional y sus campos de actuación se centran, entre otras acciones, en el desarrollo de equipos para caracterización de combustibles, para medida de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, etc. y de la acidez de las precipitaciones, programas para el seguimiento de la contaminación atmosférica, etc.

Finalmente, la función de la cuarta línea de investigación mencionada -- nuevas tecnologías limpias de generación de electricidad --, es articular una política medioambiental que integre a las tres líneas anteriores. En este sentido, se están desarrollando tecnologías de combustión en lecho fluido, de gasificación, de mezclas líquidas de carbón, de licuefacción, alternativas no contaminantes, etc.

Cabe destacar dentro de los proyectos aprobados en los últimos años, el iniciado en 1993 y aun en vigor, sobre "Determinación e implicaciones de la metodología de cargas/niveles críticos de contaminantes atmosféricos", dedicado al seguimiento de los protocolos emitidos por el Convenio de Ginebra, en aquellos contaminantes en los que el sector eléctrico tiene un peso específico de relevancia.

En definitiva, el sector eléctrico ha impulsado acciones de investigación destinadas a incrementar la independencia tecnológica de la industria española en materia medioambiental -- especialmente en aspectos tales como equipos de medida automática, desarrollo de tecnologías de combustión limpia, valoración del carbón, depuración de gases, pilas de combustible, otros usos de carbón, etc. -- y a ponerla en condiciones, incluso, de competir en los mercados internacionales.

Por añadidura, estas iniciativas se realizan a través de esquemas de cooperación de las compañías eléctricas españolas con ingenierías, empresas de bienes de equipo, expertos de otros sectores, instituciones de investigación, etc., lo que ha tenido un efecto multiplicador sobre el desarrollo tecnológico y la capacidad investigadora global del país.

## 6. EL SECTOR ELÉCTRICO Y EL MEDIO AMBIENTE: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

Las empresas eléctricas españolas consideran que la gestión medioambiental es un elemento más de la gestión empresarial. Este tipo de gestión viene definida por una estrate-



*Aguas cristalinas producen energía en la central hidroeléctrica de Urdiceto*

*La tecnología  
medioambiental de  
nuestro Sector  
Eléctrico compite a  
nivel internacional*



*Estepa blanca*



*Oropéndola*



*Paloma torcaz*



## 2. EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

gia de actuación en el sentido más amplio, proponiendo actuaciones ordenadas por prioridades, en función de la importancia de los temas y teniendo en cuenta de manera constante el máximo respeto al entorno.

En este sentido, el primer objetivo que se plantean es el conocimiento real de cuál es la situación medioambiental de las actividades e instalaciones eléctricas. Para ello, realizan auditorías medioambientales que permiten conocer el nivel de cumplimiento de la normativa existente, comprobando si se aplica un mayor rigor en dicho cumplimiento, en la organización de la empresa y en su política específicamente medioambiental. Por otro lado, este tipo de auditorías detectan los puntos débiles de cada sistema productivo en los que es preciso actuar. Además, permiten definir si los procedimientos que se siguen tienen lagunas, si la formación de los técnicos es la adecuada, si la conciencia medioambiental ha calado en la sensibilidad de los empleados, etc. Con todos los conocimientos así obtenidos, se puede llegar a definir un programa completo de actuación para que la empresa desarrolle un instrumento de gestión riguroso y fiable.

*Las auditorías medioambientales permiten seguir el nivel de cumplimiento de las normativas vigentes*

Este suele presentar cuatro vertientes fundamentales. La primera tiene por objeto definir la gestión general de la empresa en cuanto a responsabilidad, atribuciones, tratamiento y flujos de la información, coordinación de grupos, formación de personal y comunicación. La segunda suele incluir la planificación, en la que se definen de forma precisa los aspectos medioambientales que hay que tener en cuenta al diseñar e instalar las centrales eléctricas, las redes de transporte y distribución, y las estaciones de transformación y distribución. La tercera tiene por objeto conocer cómo se comportan las instalaciones en relación con el medio ambiente durante su explotación, la forma en la que funcionan los sistemas de control y aviso, y los resultados que se van obteniendo al tomar decisiones en situaciones potenciales de alarma. Por último, en la cuarta se define la estrategia en materia de investigación y desarrollo a corto, medio y largo plazo, a la que son incorporados de forma continua los nuevos desarrollos y conocimientos generados por el mundo científico y tecnológico, tanto en lo que se refiere al medio ambiente, como a las tecnologías de diseño y explotación.

Las empresas eléctricas españolas abordan la problemática medioambiental imprimiendo a esta tarea un sello propio, derivado de su cultura de empresa y del contexto y entorno físico concreto en el que desarrolla sus actividades. Como consecuencia de ello, los esquemas organizativos y de gestión en relación con el medio ambiente son diferentes en cada una de ellas, pues han sido adaptados al conjunto de la estrategia empresarial



*Coníferas en el entorno de la central nuclear de Santa María de Garoña*

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Adelfa*



*Rabilargo*



*Culebra de escalera*

para obtener así los resultados más eficaces y una adecuada integración de la problemática medioambiental en la gestión de la empresa. Por otro lado, cada empresa eléctrica es consciente del carácter global y común de algunos problemas ambientales, por lo que todas están presentes en foros comunes en el campo del medio ambiente, con el fin de optimizar recursos y resolver conjuntamente problemas que son de carácter común tanto a nivel nacional como internacional.

La posición del sector eléctrico español es por tanto no limitarse sólo a cumplir la normativa medioambiental de forma rigurosa, sino ir más allá, en la medida de lo posible, teniendo en cuenta las implicaciones técnicas y económicas, con el objetivo final de lograr la mayor compatibilización con el entorno.

En particular, conviene destacar, por su importancia, aspectos tales como la gestión de los residuos, la formación del personal y la comunicación.

Los residuos sólidos se suelen contemplar en todas sus facetas -- los líquidos y gaseosos tienen otro tipo de tratamiento y normalmente están integrados en otros instrumentos de gestión --. Lo primero que se plantea en relación con ellos es aprovechar la energía residual que algunos contienen. En segundo lugar, cuando se tiene un residuo inocuo no aprovechable, éste es almacenado o depositado de forma que se pueda integrar en el paisaje de manera armónica. En tercer lugar, se busca la solución idónea para la destrucción de los residuos tóxicos o peligrosos. Finalmente, se realizan operaciones permanentes de identificación, caracterización, selección, clasificación, recogida y transporte de estos residuos.

En relación con la formación del personal, las empresas establecen programas para que los empleados tomen conciencia de que deben realizar su trabajo en el marco de un compromiso de respeto al medio ambiente y promueven cursos específicos de formación medioambiental. Por último, facilitan su acceso a los cursos de especialización en los que la protección del medio ambiente es tema prioritario.

Finalmente, la comunicación es una cuestión de preocupación preferente, ya que permite dar a conocer a la sociedad cómo actúa la empresa eléctrica en aquellos aspectos medioambientales que son de preocupación prioritaria, los esfuerzos que realiza, el grado de consecución de los objetivos y los problemas económicos y tecnológicos a los que se enfrenta en este terreno.



*Embalse de la central hidroeléctrica Javier Relatre*

*El Sector eléctrico  
español cumple  
todas las  
normativas  
medioambientales*



*Sapo partero*



*P. Regional Peña del Águila (Murcia)*



*Arum italicum*



## 2. EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL Y EL MEDIO AMBIENTE

Esta actitud medioambiental se encuentra materializada en las Declaraciones de Respeto al Medio Ambiente y en los Códigos de Conducta Medioambiental que las asociaciones empresariales y las propias empresas eléctricas vienen adoptando, las cuales reflejan de forma clara y concreta cual es su postura y su compromiso medioambiental actual.

Para cumplir los Códigos de Conducta mencionados, las empresas eléctricas se plantean, entre otras tareas, el análisis de los acuerdos adoptados en los convenios internacionales sobre medio ambiente, para conocer así cómo pueden verse afectadas por ellos y desarrollar las investigaciones necesarias para disponer de las tecnologías que permiten alcanzar sus objetivos. También realizan un seguimiento especial de todas aquellas normas y procedimientos que en el futuro constituirán el cuerpo legislativo medioambiental de agrupaciones supranacionales, tales como la UE, o del propio Estado español.

Otra tarea que se plantea el sector eléctrico de cara al futuro es el análisis de las posibilidades de alcanzar mayores cotas de reducción de los contaminantes tradicionales. Además, es objeto de atención preferente el incrementar el conocimiento de los contaminantes menos estudiados, como los compuestos orgánicos volátiles, los metales pesados, etc. Asimismo, otra línea de atención futura es la caracterización de los efectos conjugados de la emisión e inmisión de contaminantes, sus efectos sinérgicos y su impacto sobre el entorno (cargas críticas).

Las empresas eléctricas españolas están ya considerando la dimensión global del medio ambiente, es decir, que la contaminación, además de su incidencia local y regional, puede tener repercusiones transnacionales -- como es el caso de la lluvia ácida -- y, a veces, mundiales -- como son los casos del efecto invernadero y de la destrucción de la capa de ozono --. En este sentido, están colaborando en la búsqueda de soluciones para la reducción global de las emisiones de dióxido de carbono, el transporte de contaminantes a gran distancia, etc.

Finalmente, es preciso insistir en el gran impulso que han dado a la investigación y desarrollo de tecnologías de combustión limpia, a las nuevas tecnologías de generación de energía y a las energías renovables, iniciativas que en gran parte se realizan en colaboración con otros sectores eléctricos europeos y, en muchos casos, en el marco de programas de investigación de la Unión Europea.

*Las empresas  
eléctricas respetan  
los Códigos de  
Conducta  
medioambiental*



*En muchísimas ocasiones, como en la central hidroeléctrica de Tabescán, su arquitectura armoniza y enriquece el paisaje*

### Fauna y Flora Españolas



*Dehesa de encinas*



*Flor de la jara*



*Ovejas en la dehesa*

## CAPÍTULO 3

---

### LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

#### 1. LOS COMBUSTIBLES FÓSILES EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Las centrales térmicas llamadas clásicas o convencionales son las que utilizan combustibles fósiles como materia prima, es decir, carbón, fuel-oil y gas natural.

El carbón representa cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales de combustibles fósiles conocidas actualmente. Hasta el año 200 ha sido la materia prima energética más utilizada en la producción de energía eléctrica en el ámbito mundial, aunque en un futuro próximo es previsible una reducción de su consumo en la generación de electricidad, seguirá no obstante desempeñando un papel importante. 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 marco de competencia derivado del mercado interior de la energía.

*Hasta el año 2000, el carbón ha sido la materia prima energética más utilizada a nivel mundial para la producción de electricidad*

En 1999, el consumo bruto de energía primaria en España se situó en 121,5 millones de tep (cerca del 7% del total de la UE). En su estructura destaca la importante participación del petróleo con un consumo de productos petrolíferos superior a los 65 millones de toneladas y 13,5 equivalentes de petróleo de gas natural.

Por lo que respecta en concreto al sector eléctrico español, en el año 2000 la potencia instalada era de 55.244 MW, de los que 46.992 MW corresponden a las empresas eléctricas que integran UNESA. Mientras que en los sistemas extrapeninsulares, que suman una potencia de 2.962 MW, la electricidad se genera fundamentalmente a partir de combustibles líquidos, en la península se produce sobre la base de una potencia más diversificada, con 16.498 MW en centrales hidroeléctricas (37,5%), 7.798 MW en centrales nucleares (17,70%) y 19.734 MW en centrales que queman combustibles fósiles (44,8%).

La potencia instalada en centrales térmicas de carbón, 12.080 MW, representa un 25,7% del total peninsular. En lo que se refiere a la producción de energía eléctrica, un 42,6% de la cifra total fue generada en 2000 a partir de carbón.



*Grupos generadores de la central térmica de San Adrián*

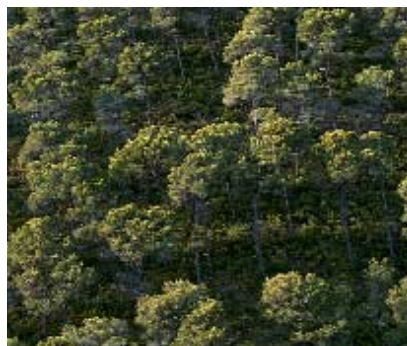
Estos datos reflejan, en definitiva, la importancia del carbón para el suministro de energía eléctrica. Una importancia que es aún más acusada en el caso de los carbones nacionales, pues éstos representan cerca del 79% de toda la electricidad que se genera en España a partir del carbón.

En cuanto al fuelóleo, el gas natural y otros productos petrolíferos, la poten-

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Abejarucos*



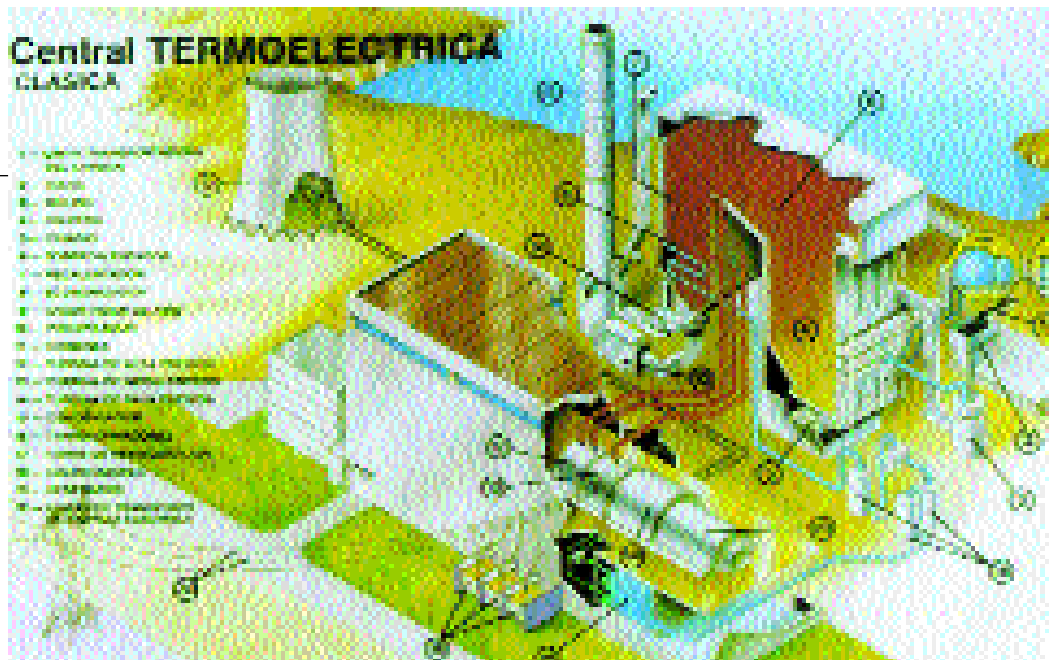
*Sierra Espuña (Murcia)*



*Familia de herrerillos*

cia instalada en centrales que consumen estos combustibles era en el 2.000 de 10.616 MW, de los que 7.017 MW corresponden a instalaciones de fuelóleo y otros productos petrolíferos y 3.599 MW a fuelóleo y gas natural, 14,9% y 7,6% respectivamente de la potencia instalada por las empresas que integran UNESA.

Cabe subrayar, por otro lado, que aunque exista una fuerte promoción para el uso de otros combustibles, como el gas natural, y fuentes de energía renovable, la participación del carbón, tanto nacional como importado, en el suministro eléctrico seguirá siendo importante a lo largo de la próxima década, si bien es de prever una fuerte penetración de la generación con gas natural en ciclos combinados, habida cuenta de sus ventajas medioambientales y elevada eficiencia energética.



Esquema de funcionamiento de una central térmica clásica

## 2. INCIDENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD CON COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL MEDIO AMBIENTE.

La utilización de los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica puede producir interacciones con el medio atmosférico, hídrico, etc... Además, en el caso particular de los carbones, el número de interacciones potenciales es mayor que en el de otros combustibles fósiles como consecuencia de los procesos de extracción, almacenamiento, utilización y residuos.

Dada la participación de los carbones españoles en la producción de energía eléctrica y, en muchos casos, su baja calidad, es decir, su elevado contenido en azufre y en cenizas y su reducido poder calorífico, el mantenimiento de una elevada tasa de utilización de este combustible que sea compatible con una satisfactoria calidad ambiental supone para el sector eléctrico español un importante reto que se traduce en grandes esfuerzos tecnológicos y elevadas inversiones.

En las centrales de fuelóleo y fuelóleos, las acciones del sector van encaminadas a quemar combustibles de bajo contenido en azufre. Además, como suponen actualmente únicamente el 8,7 % de la producción eléctrica total, su impacto medioambiental en el ámbito nacional es poco significativo. Sólo adquiere importancia cuando se analizan determinados impactos locales de centrales concretas. Por ello, las empresas eléctricas han dado prioridad a corto plazo a la solución de problemas eventuales en las áreas en las que se ubican dichas centrales.

*El carbón español es pobre en poder calorífico y sus yacimientos no son muy abundantes*



Muflón



Comadreja



Grillotopo



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

Los contaminantes emitidos por las centrales térmicas clásicas se originan durante el proceso de combustión y, en mucha menor proporción, durante las operaciones de almacenamiento y transporte. En el caso del carbón, hay que tener en cuenta la importancia de la selección y preparación de los terrenos en donde se han de instalar los parques de carbón y las escombreras. El transporte de cenizas no suele presentar problemas medioambientales por efectuarse en contenedores apropiados cuando el transporte se hace en seco, y no tiene ninguna repercusión en la atmósfera si se realiza en estado húmedo.

Aunque hay que tener también en cuenta sus emisiones acústicas, el aspecto más importante de la incidencia de una central térmica clásica en el medio atmosférico consiste en las emisiones de partículas y gases, en concreto de las siguientes:

- Oxidos de Azufre ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ )
- Oxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
- Oxidos de Carbono ( $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ )
- Partículas en suspensión y sedimentables

*La emisión de gases, partículas en suspensión y residuos, son producidos en la generación eléctrica*

#### 2.1. Óxidos de azufre

El anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) se origina en cantidades relativamente importantes durante la combustión del azufre contenido en el combustible. Así, para un grupo de unos 500 MW, la producción de  $\text{SO}_2$  es del orden de 2,5 a 7,5 t/h si el fuelóleo tiene un 1 ó un 3% de contenido en azufre respectivamente; y del orden de 5 t/h si quema carbón nacional, mezcla de hulla y antracita, con un contenido en azufre del 1%. Cabe recordar que no es extraño encontrar carbones nacionales con un 2% y hasta con un 5% de contenido de azufre, mientras que los carbones importados que se consumen en España tienen generalmente un contenido de azufre inferior al 0,6-0,7%.



*La central térmica de Candelaria utiliza el agua del mar para su refrigeración*

Por su parte, el anhídrido sulfúrico,  $\text{SO}_3$ , es resultado de la oxidación del anhídrido sulfuroso que tiene lugar en los humos, transformación que varía entre el 0 y 5% en función de las condiciones de combustión. Supuestos los casos del párrafo anterior, la emisión máxima se encontraría alrededor de 0,1 - 0,4 t/h para el caso del fuelóleo y de 0,25 t/h para un carbón con un 1% de contenido en azufre.

#### 2.2. Óxidos de nitrógeno

Las cantidades emitidas pueden ser muy variables, ya que su formación

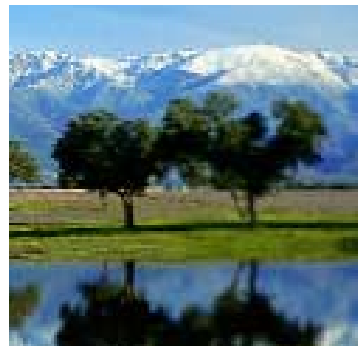
#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Brotes de quejigo*



*Ruiseñor*



*Laguna en una dehesa*



depende considerablemente de las condiciones de combustión. En general, 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 NOx. Aproximadamente, las cifras de emisión son de 450 a 800 mg/Nm<sup>3</sup> en las centrales de fuelóleo, y de 400 a 1200 mg/Nm<sup>3</sup> en las centrales de carbón.

### 2.3. Óxidos de carbono

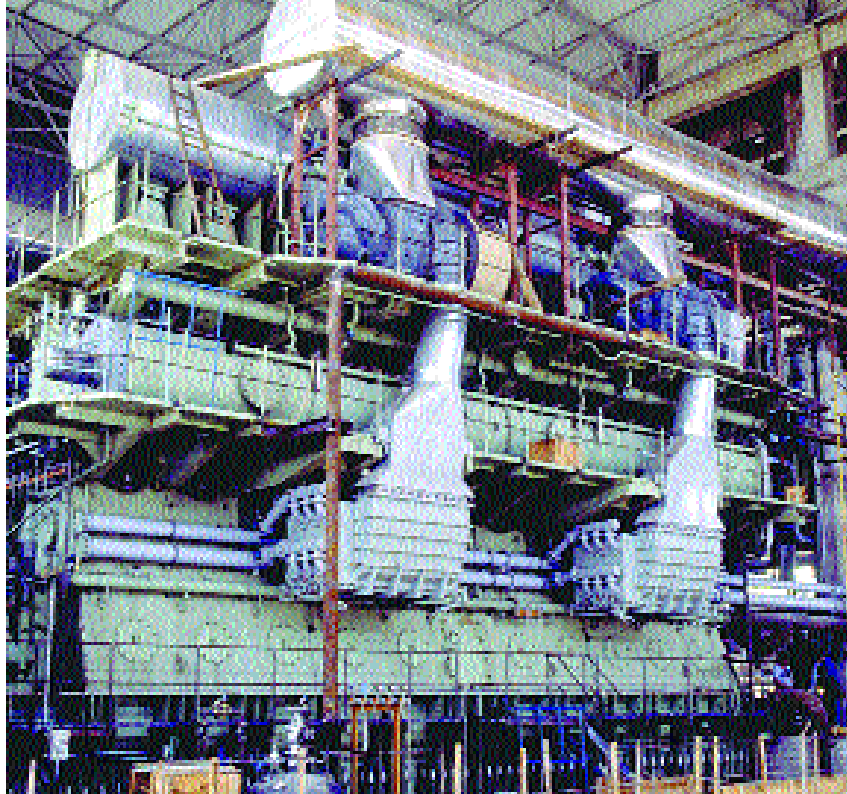
No se suele tomar en consideración el efecto de las emisiones de monóxido de carbono (CO), pues se producen habitualmente en cantidades poco significativas. Por el contrario, están adquiriendo una importancia creciente las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la generación térmica de electricidad, por su eventual incidencia y contribución al fenómeno del cambio climático global. Las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> por kWh generado están ligadas principalmente al contenido en carbono del combustible consumido y al rendimiento de la central térmica.

### 2.4. Partículas en suspensión y sedimentables

Las partículas en suspensión y sedimentables 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: aquéllas 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 a 10 micras, que se denominan partículas en suspensión, se comportan en la atmósfera como si fueran gases.

## 3. CONTROL AMBIENTAL EN LAS CENTRALES TÉRMICAS CLÁSICAS.

Las principales instalaciones de generación de electricidad alimentadas con carbones nacionales fueron autorizadas en la primera mitad de la década de los setenta. La Administración tuvo en cuenta en su día las desfavorables características que presentan estos combustibles y planteó que su operación se efectuara en condiciones que salvaguardaran en todo momento la calidad del medio ambiente. La Ley 29/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico, el Decreto 833/1975 que la desarrollaba y las autorizaciones administrativas que se aplican a cada central térmica incluyen condicionantes en tal sentido.



*Detalle de equipamientos de la central térmica de Ibiza*

*La frecuente  
emisión de dióxido  
de carbono (CO<sub>2</sub>)  
puede incidir en  
fenómenos de  
cambio climático*



*Sierra Madroña (Ciudad Real)*



*Elanio azul*



*Frutos del Majuelo*

### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

El establecimiento de niveles específicos de emisión de  $\text{SO}_2$  y partículas (no se reglamentaron, sin embargo, los de  $\text{NO}_x$ ) y los criterios sobre los niveles de inmisión que deben ser respetados en cualquier tipo de condiciones llevaron a la adopción de los mejores sistemas de protección entonces disponibles: retención de partículas mediante precipitadores electrostáticos, difusión atmosférica mediante chimeneas de elevada altura, etc. Los sistemas de vigilancia continua de la calidad ambiental en el entorno de las centrales, que incluían el control del agua de lluvia, y los estudios de impacto y seguimiento demostraron, desde el primer momento, la efectividad de los sistemas aplicados.

Sin embargo, la creciente preocupación por otros problemas ambientales -- en particular, la contaminación transfronteriza -- y la entrada de España en la CE planteó a la Administración y al sector eléctrico la necesidad de una reducción adicional de emisiones. Esta se inició con la utilización de combustibles de alta calidad junto con los carbones nacionales y tendrá su prolongación próximamente con el aumento del uso del gas natural en las centrales térmicas de fuel-oil del Sistema Peninsular, sobre la base del Protocolo de Intenciones para el uso del gas natural en la generación de energía eléctrica en España.

*En 1980 se inició el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de proceso de combustión limpia del carbón*

A principios de los años ochenta, se inició en España el desarrollo y aplicación de los procesos de combustión limpia del carbón. Cabe citar en este sentido la planta de demostración de combustión en lecho fluidificado a presión de 80 MW de Escatrón, los proyectos de combustión en lecho fluidificado atmosférico de 150 MW en la central Teruel, el proyecto de gasificación integrada con ciclo combinado de 330 MW en la central de Puertollano o la inyección de aditivos fijadores de azufre en el hogar de determinadas instalaciones termoeléctricas.

A ello hay que añadir, en el terreno de la explotación comercial, la aplicación de una política de mezcla de combustibles (que incluye el uso de parques de homogeneización) asociada a sistemas de control suplementario de actuación en función de la calidad ambiental existente en el entorno de las instalaciones. En situaciones especiales, se ha llegado también a utilizar el gas natural para reducir las emisiones.



*La iluminación nocturna refleja en el agua la imagen de la central térmica de Anllares*

Como se ha mencionado al comienzo del presente capítulo, los carbones importados tienen mejores características medioambientales que los nacionales. Su contenido en azufre es considerablemente inferior y también suele serlo su contenido en cenizas. Además, presentan ventajas económicas, ya que su precio es muy inferior al del carbón nacional. Las condiciones del mercado mundial del carbón, la abundancia relativa de reservas y la diversidad de las fuentes de aprovisionamiento

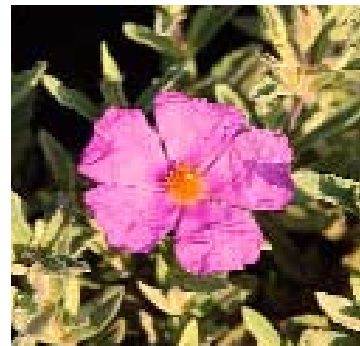
#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Mediterráneo*



*Parque Natural de Cazorla (Jaén)*



*Gato montés*



*Jara rizada*



permiten predecir unas condiciones de precio estables en el futuro.

En cuanto a la reducción de emisiones de NOx, el sector eléctrico tiene en marcha diversos proyectos, como son el cambio de quemadores convencionales por otros de baja producción de NOx, el estudio de la aplicación de medidas primarias y las diversas posibilidades que ofrece la utilización del gas natural en combinación con otros combustibles.

La reducción de emisiones de partículas es también un objetivo medioambiental ligado a la operación de estas centrales. Se han estudiado diversos procedimientos, entre los que destaca la inyección de SO<sub>3</sub> y las mejoras en los sistemas de control de los precipitadores. En este sentido, el mercado tecnológico ha ido ofreciendo progresivamente una serie de alternativas con distintos grados de desarrollo, eficiencia y costes para la reducción de las emisiones de partículas y de los óxidos de azufre y nitrógeno. El problema del CO<sub>2</sub>, por el contrario, requiere una consideración especial y está todavía en estudio.

Los principales componentes contaminantes gaseosos y sólidos emitidos por una central de fuelóleo son las partículas, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el óxido de nitrógeno (NOx). En las centrales de gas, es sólo el NOx.

Para minimizar el impacto ambiental producido por las partículas y el SO<sub>2</sub>, en las centrales de fuelóleo se ha mejorado considerablemente la calidad del combustible utilizado. Como dato significativo, puede señalarse que en el año 1990 sólo el 5,3% del fuelóleo total consumido en las centrales termoeléctricas españolas era del tipo BIA, es decir, el que posee un contenido en azufre inferior al 1%. En 1999, la práctica totalidad de las centrales de fuelóleo consumen fuel tipo BIA lo que a dado lugar a una reducción de las emisiones específicas en grs. SO<sub>2</sub>/kWh próxima al 56%, comparándolas con las producidas en el año 1990.

Por lo que se refiere a la reducción de partículas, y aparte de la mejora del combustible, que por sí sola representa una disminución en las emisiones de más del 25%, se utilizan activadores de la combustión, cuyo objetivo básico es la obtención de una combustión más completa y, por tanto, una reducción de la emisión de materia particulada.

En 3.599 MW de la potencia instalada en España en centrales capaces de producir con fuelóleo y gas natural, la actuación ha estado dirigida a reducir todas las emisiones mediante la sustitución del equipo de combustión y la mejora del tipo de fuelóleo quemado.



*Cielo y mar enmarcan la central térmica de Jinamar*

*La práctica totalidad de las centrales termoeléctricas españolas consumen fuelóleo del tipo BIA*

## Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Buitre leonado*



*Valle de Iruelas (Ávila)*



*Montaña asturiana*



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

#### 3.1. Principales tecnologías utilizadas para la reducción de emisiones a la atmósfera

##### 3.1.1. Sistemas de retención de partículas

La eliminación de partículas sólidas constituye una práctica habitual en el sector eléctrico español desde hace muchos años, disponiendo para ello de tecnologías bien establecidas y de alta eficacia. Las limitaciones legales, tanto en la cantidad como en la granulometría de las partículas emitidas, han provocado un natural desplazamiento desde los primitivos separadores mecánicos, hasta equipos de gran rendimiento, como son los precipitadores electrostáticos o los filtros de mangas.

Un sistema muy utilizado es el ciclón, que en ocasiones se encuentra dispuesto en baterías de numerosos equipos individuales, largos y de pequeño diámetro, constituyendo así multiciclones. Su eficiencia se halla entre el 80% y el 90%, y llega hasta un 95% en el caso de los multiciclones, aunque son poco efectivos en la captación de partículas inferiores a los 10 mm. Actúan por vía seca, su diseño es sencillo, su mantenimiento fácil y tienen un bajo coste. Requieren poco espacio y pueden trabajar a elevada temperatura, lo que favorece su uso en ciertos casos especiales; por ejemplo, en calderas de lecho fluidificado a presión. Normalmente se usan como sistemas previos de separación.

Los precipitadores electrostáticos se vienen utilizando desde hace más de setenta años y, hasta el momento, constituyen los sistemas más empleados en las centrales térmicas de carbón españolas.

Con los electrofiltros se alcanzan normalmente rendimientos del 99,5% y, en ocasiones, hasta prácticamente el 100%, incluso para partículas finas. Pueden tratar grandes volúmenes de gases y es posible su operación a temperaturas elevadas, de hasta 700°, con baja pérdida de carga. Requieren un mantenimiento relativamente reducido y sus costes de operación son razonables. No obstante, son equipos de elevado coste de instalación y su operación puede verse afectada por fluctuaciones en las condiciones de los gases, mientras que les son favorables la humedad y el alto contenido en azufre de los humos.

Los electrofiltros suelen presentar problemas de operación con carbones bajos en azufre y cenizas de alta resistividad eléctrica. En tales casos, se ha recurrido al acondicionamiento de los gases de combustión (adición de SO<sub>3</sub>, amoníaco, aminas) o a la operación en rangos de alta temperatura (electrofiltros calientes), instalando los electrofiltros antes del precalentador.



Central térmica de Castellón, una de las instalaciones pioneras en la valoración de los efectos medioambientales

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



Fresa silvestre



Corzo



Comarca de Sanabria (Zamora)

### 3.1.2. Reducción de emisiones de dióxido de azufre

La reducción de emisiones de  $\text{SO}_2$  constituye uno de los problemas más antiguos en la industria eléctrica. Se han dedicado a él muchos más esfuerzos tecnológicos que a cualquier otro aspecto medioambiental de la generación termoeléctrica.

En la etapa de precombustión, los criterios de selección o mezcla de combustibles (carbones de alta calidad, combustión mixta carbón/gas) o la mejora de su calidad (lavado, desulfuración) constituyen alternativas ya desarrolladas industrialmente, pero de una eficacia normalmente modesta, particularmente cuando el objetivo es el máximo uso de los recursos locales. Conviene advertir que el Decreto 646/1991, siguiendo las líneas de la Directiva Comunitaria 88/609 sobre grandes instalaciones de combustión, no favorece la combustión mixta, ya que los límites de emisión aplicables son la media ponderada de los correspondientes a los combustibles individuales.

La conversión del carbón en otro combustible limpio (líquido o gaseoso) presenta un indudable atractivo. La gasificación del carbón, transformándolo en un gas de bajo poder calorífico, es una tecnología de aplicación industrial desde hace muchos años. Cuando el gas depurado se utiliza en un ciclo combinado (turbina de gas/turbina de vapor), se obtienen dos ventajas: una reducción muy notable de las emisiones de compuestos de azufre y moderada en los de nitrógeno; y un importante aumento en el rendimiento de la generación eléctrica comparado con el de una central térmica convencional. A un plazo medio y largo, la tecnología de gasificación con ciclo combinado integrado puede constituir una de las mejores opciones de uso limpio del carbón tras un período previo de operación en el ámbito de demostración o pre-comercial de plantas como la de Puertollano en España.

La licuefacción del carbón (pirólisis), que supone su transformación en una mezcla de combustibles líquidos y gaseosos, se encuentra en una etapa más atrasada de desarrollo, ya que no ha superado la fase de laboratorio.

La reducción de emisiones durante la combustión puede conseguirse tanto en instalaciones de combustión convencional, como mediante procesos de combustión limpia. La inyección de absorbentes fijadores de azufre (normalmente óxido, hidróxido o carbonato) en diversos puntos del circuito de combustión de una caldera convencional permite alcanzar reducciones moderadas en las emisiones de  $\text{SO}_2$  (entre un 25% y un 60%), según las



*La central térmica de Mahón está situada en un enclave de gran belleza natural*

*La licuefacción del carbón (pirólisis) se encuentra en fase de desarrollo*



*Brotes de fresno*



*Piquituerto*



*Hayedo de Irati (Navarra)*



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

pruebas realizadas en las centrales de Puentenuevo y Litoral de Almería. La eficacia puede mejorarse con el aprovechamiento de la cal libre existente en las cenizas del proceso, tal como ha quedado demostrado en un proyecto del Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico Electrotécnico (P.I.E.) y en la planta de desulfuración parcial del caudal de humos que se instaló en la central térmica de Cercs.

Sin embargo, los resultados más satisfactorios en cuanto a reducción de emisiones contaminantes se alcanzan utilizando un sistema de combustión limpia -- como es la combustión en lecho fluidificado -- en presencia de compuestos fijadores de azufre (caliza, dolomita), aunque esta tecnología resulta todavía cara en comparación con la combustión convencional. Las adecuadas condiciones del proceso hacen que la reducción de las emisiones de  $\text{SO}_2$  sea comparable a las obtenidas con sistemas convencionales de depuración de gases. Las variantes comerciales de lecho fluidificado son el lecho atmosférico, que tiene actualmente una limitación de potencia en torno a 150-200 MW, y el lecho presurizado, que está actualmente en fase de planta de demostración de unos 80 MW, como en el caso de la central térmica de Escatrón. Esta última presenta la ventaja adicional de que proporciona un aumento en el rendimiento de la generación eléctrica, al incluir en el ciclo una turbina de gas. En este caso, a la mayor competitividad del proceso se une una mayor reducción en la emisión específica de contaminantes.

En la fase de postcombustión, han alcanzado amplia difusión los sistemas de desulfuración de los gases de combustión. Su utilización comienza ya a ser habitual en Estados Unidos, Japón y algunos países europeos, particularmente Alemania, donde se encuentran en operación unas 500 instalaciones en centrales térmicas de carbón. Existe una gran variedad de procesos comerciales (vía húmeda, atomización/secado, sistemas de regeneración, etc.), si bien predominan los basados en el uso de caliza o cal. Pese a su difusión y buena operatividad, todavía presentan determinados problemas (efluentes contaminados, residuos, consumo de agua) y su empleo supone una pérdida en el rendimiento neto de la central.

*La combustión en lecho fluidificado reduce significativamente las emisiones contaminantes*



*La central térmica de Sabón también utiliza agua marina para su refrigeración*

Por lo general, los procesos de desulfuración se estudian según la fase del proceso y, dentro de cada grupo, se suele distinguir la utilización comercial o no del producto residual que se obtiene a partir del  $\text{SO}_2$ . Los procesos por vía húmeda son los que han alcanzado mayor difusión hasta el momento. La tecnología se basa en la reacción del  $\text{SO}_2$  existente en los gases de combustión con un absorbente químico en fase líquida (disolución o suspensión acuosa de un producto con propiedades alcalinas) en un proceso denominado genéricamente "lavado".

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Erizo*



*Robledal en verano*



*Polluelo de cárabo*



Los reactivos más utilizados, tanto por su abundancia como por su precio, son la caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y el óxido cálcico ( $\text{CaO}$ ), aunque algunos sistemas emplean también, sulfato sódico, óxido magnésico, etc... En ciertos procesos se mejora la eficacia de la desulfuración incorporando determinados aditivos específicos, normalmente ácidos orgánicos.

El tratamiento y eliminación de los residuos de la desulfuración presenta problemas tanto técnicos como ambientales, pues se producen grandes cantidades de subproductos, muchas veces en forma de lodos de difícil manejo, cuya eliminación requiere extensas áreas de terreno, y presentan, además, un elevado potencial contaminante de suelos y aguas subterráneas.

Por ello, en las instalaciones japonesas y europeas se tiende siempre a la obtención de un producto final estable, de seguro y fácil manejo y, si es posible, que permita su posterior utilización industrial. Así, en los procesos basados en la absorción con suspensiones de caliza o lechada de cal, se procede a una oxidación forzada del producto de reacción transformándolo en yeso, producto que puede ser comercializado.

En los procesos de absorción por atomización/secado el sólido pulverulento resultante de la fijación del  $\text{SO}_2$  se separa en precipitadores electrostáticos o en filtros de mangas. El reciclado de parte del subproducto permite un mejor aprovechamiento de la materia prima.

Los productos finales están formados por sulfito cálcico, una pequeña fracción de sulfato, reactivo sin utilizar y cenizas volantes. A causa de su naturaleza, el sistema presenta ciertas dificultades de eliminación, lo que hace que no se haya aplicado en determinados países. No obstante, y aunque no se tiene mucha experiencia en su aplicación al caso de carbones de alto contenido en azufre, constituye una alternativa muy interesante a los procesos por vía húmeda.

Los procesos por vía seca no hacen uso del agua y, en su mayor parte, se encuentran en fase de experimentación.

### 3.1.3 Reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno

La reducción de emisiones de  $\text{NO}_x$ , fundamentalmente de origen térmico, puede conseguirse mediante la aplicación de una serie de técnicas que permiten disminuir su formación, como la modificación del diseño de los quemadores o la actuación sobre las condiciones de combustión del carbón.



Conducciones y tanques de almacenamiento de la central térmica de Algeciras

Los reactivos más utilizados para la desulfuración del carbón son la caliza y el óxido de calcio



Hojas del fresno



Seta y musgo



Lobeznos



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

En este sentido, cabe mencionar la combustión con menor exceso de aire suministrado a los quemadores, con la que es posible conseguir una reducción de hasta un 20% de las emisiones de NOx; la combustión escalonada con adición de aire sobre los quemadores, que permite reducciones de NOx de entre el 10 y el 40%; la operación a baja carga o la recirculación de gases de combustión fríos.

El empleo de los quemadores denominados "de bajos óxidos de nitrógeno", que reducen la formación de NOx retrasando la mezcla del combustible con el aire y limitando, por tanto, la disponibilidad del oxígeno libre, ha alcanzado ya una amplia difusión en diversos países europeos. Se han conseguido con ellos reducciones superiores al 50% merced a diseños avanzados que todavía no han sido comercializados.

Una eliminación mayor -- de hasta un 85% -- puede conseguirse mediante el tratamiento de los gases de combustión, complementando siempre la aplicación de medidas primarias. El sistema más extendido es la reducción selectiva de los NOx con amoníaco en presencia de un catalizador. La reducción de los óxidos de nitrógeno se produce por inyección de amoníaco en los gases de combustión a unos 350-400°C.

*Los quemadores  
"de bajos óxidos  
de nitrógeno"  
reducen la  
formación de NOx*

La vida del catalizador en las condiciones de operación de gases muy cargados de polvo y dióxido de azufre sigue siendo objeto de investigación.

Para obviar la necesidad de catalizadores, se ha desarrollado la reducción selectiva no catalítica. Su rendimiento de eliminación es de alrededor del 70%.

En España, cabe citar el cambio a quemadores de bajo NOx realizado en la central térmica de Foix (fuel-gas, con una carga nominal de 520 MWe) y los proyectos previstos tanto para las nuevas Grandes Instalaciones de Combustión que se construyan antes del año 2000, como en centrales térmicas (existentes y nuevas).



*Vista nocturna de la central térmica de Soto de la Ribera*

#### 3.2. La incidencia de los efluentes y residuos líquidos en el medio ambiente

En las centrales térmicas, se producen fundamentalmente dos tipos de efluentes líquidos:

- Descargas térmicas, es decir, aguas residuales que podrían ocasionar una eventual contaminación térmica del medio hídrico receptor.
- Vertidos químicos, esto es, aguas residuales contaminadas con materiales diversos.

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Sierra de Gredos (Ávila)*



*Azor*



*Hojas de roble en otoño*

El funcionamiento de una central térmica requiere el consumo de grandes cantidades de agua, por lo que es necesaria una fuente de abastecimiento adecuada y relativamente próxima a la central. Las fuentes de suministro de agua pueden ser lagos naturales, embalses, ríos, pozos o el mar. La calidad o naturaleza de estas aguas plantea dificultades adicionales en el funcionamiento de este tipo de instalaciones, pues para una serie de operaciones de la central se requiere agua de calidad -- desde la simplemente ablandada o potable, hasta la totalmente desmineralizada -- para alimentar el sistema de generación de vapor. Por esta razón, la central cuenta con plantas depuradoras que, a su vez, generan efluentes residuales.



*Torre de refrigeración de la central térmica de Cerch*

Los usos más frecuentes y continuos del agua y, en consecuencia, los que pueden producir más efluentes líquidos son los siguientes: la generación de vapor, la refrigeración del condensador, el tratamiento y depuración del agua de alimentación, la potabilización del agua, el manejo de cenizas por vía húmeda, etc.

También se producen efluentes líquidos con otros usos del agua, pero de forma intermitente. Por ejemplo, en las operaciones de limpieza (caldera, precalentadores, etc.) y en la humectación de parques de carbones y cenizas.

Finalmente, no deben ser olvidadas, aunque no estén incluidas en el proceso, ciertas aguas de origen "natural", tales como las escorrentías de agua de lluvia, las infiltraciones de los parques de carbón y cenizas, y los posibles drenajes subterráneos de las balsas de almacenamiento de cenizas.

### 3.2.1. Vertidos químicos

El Cuadro 3.1 contiene una clasificación de los efluentes líquidos según su origen y la importancia relativa de su volumen. Los efluentes más significativos son los siguientes:

- Los procedentes de las **plantas de tratamiento del agua** de alimentación de la caldera, que implican una gran variedad de técnicas combinadas, tales como la clarificación, ablandamiento, intercambio iónico, etc. Estos vertidos se producen de forma intermitente. Los efluentes procedentes de la depuración del agua contienen, además de las impurezas eliminadas, los productos utilizados en el correspondiente proceso (coagulantes, productos de regeneración etc.).

*Las torres de refrigeración permiten la recuperación del agua utilizada*



*Prados montanos (Asturias)*



*Arrendajo*



*Cardo (Asturias)*



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

- Los que se originan en el **sistema de generación de vapor**, tales como la purga de la caldera y los líquidos de regeneración de los sistemas de depuración del condensador. La purga de la caldera contiene todos los productos que se acumulan en la operación de la misma: acondicionadores del ciclo, productos de corrosión, etc.
- Los derivados del **sistema de manejo de cenizas y escorias**, asociados a los procesos de extracción y transporte hidráulicos de las cenizas y al almacenamiento húmedo, en su caso, en balsas para la eliminación de cenizas y escorias.
- Efluentes **diversos y ocasionales** que se producen de forma intermitente, tales como los sanitarios, los vertidos de laboratorios y sistemas de demostración, las aguas residuales procedentes de la limpieza de equipos -- chimenea, precalentadores de aire, torre de refrigeración -- y los derivados del lavado químico de la caldera.

**Cuadro 3.1 Clasificación de vertidos (aguas residuales) procedentes de centrales térmicas según sus orígenes y características cuantitativas.**

Las centrales  
térmicas reciclan el  
agua utilizada  
para su  
refrigeración

| Clasificación <sup>1</sup> | Orígenes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volumen alto               | Agua de refrigeración sin recirculación del condensador principal.<br>Aguas para servicios sin recirculación.<br>Purga del sistema principal de recirculación del agua de refrigeración.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Volumen Intermedio         | Sistemas sin recirculación del arrastre de cenizas.<br>Tratamiento de aguas por clarificación.<br>Tratamiento de agua por ablandamiento.<br>Tratamiento de agua por evaporación.<br>Tratamiento de agua por intercambio iónico.<br>Tratamiento de agua por osmosis inversa.<br>Purga del evaporado.<br>Purga de la caldera.<br>Limpieza de los tubos de la caldera.<br>Limpieza del lado de fuego de la caldera.<br>Limpieza del precalentador de aire.<br>Limpieza de la chimenea.<br>Limpieza de equipo diverso. |
| Volumen Bajo               | Purga del sistema de recirculación del arrastre de cenizas.<br>Limpieza de la cubeta de la torre de refrigeración.<br>Sistemas sanitarios.<br>Recirculación del agua doméstica.<br>Drenaje de suelo.<br>Flujos diversos.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Escorrentía de lluvias     | Drenaje de carbón almacenado.<br>Drenaje de patios y aceras.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

<sup>1</sup> Por comparación entre los volúmenes de unos vertidos con los de los restantes producidos

Entre los vertidos que se producen de forma continua, cabe citar los procedentes del sistema de agua de refrigeración (purga de la torre de refrigeración), del sistema de manejo de cenizas y de purgas de la caldera.

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



Robledal en otoño



Flora del bosque



Zorzal charlo

### 3.2.2. Contaminación térmica

Aunque una cierta cantidad del calor residual producido en una central térmica se elimina con los gases de combustión descargados a través de la chimenea, la mayor parte de esta eliminación tiene lugar en el condensador mediante el agua de refrigeración. El calor incorporado al agua de refrigeración debe ser disipado al medio ambiente, lo que se consigue por medio de dos sistemas:

- Refrigeración en circuito abierto.
- Recirculación de agua en circuito cerrado.

El primer sistema se emplea generalmente en las centrales refrigeradas con agua de mar (tal es el caso, en España, de varias centrales de fuelóleo). En ellas, se vierte la totalidad del agua tomada y se produce una descarga térmica en el medio receptor.

El segundo sistema se emplea, por lo general, en las centrales que utilizan abastecimientos de agua dulce (en España, la mayoría de las centrales térmicas de carbón), que son cada vez más escasos. En esta recirculación del agua de refrigeración por circuito cerrado, se emplean torres de refrigeración en las que, como consecuencia de la evaporación, se produce un incremento de la concentración salina del agua del circuito que exige, para evitar la formación de incrustaciones o depósitos en el sistema, una eliminación en continuo de una cierta cantidad de agua, en lo que se conoce como purga de la torre de refrigeración, que es otro efluente líquido a tratar.

### 3.3. Sistemas utilizados para proteger el medio ambiente de la contaminación térmica y los vertidos líquidos

La contaminación térmica se reduce con una cuidadosa selección de la toma de agua fría y del vertido del efluente caliente, de forma que el salto térmico en el medio receptor resulte mínimo y su incidencia medioambiental, nula o despreciable. La tendencia a un mayor aprovechamiento de calores residuales contribuirá a reducir todavía más los niveles de descarga térmica.

En relación con los vertidos líquidos, los sistemas actuales de depuración o tratamiento permiten cumplir los requisitos legales vigentes sobre esta materia.

El tratamiento se realiza en muchos casos concentrando diversas corrientes de efluentes

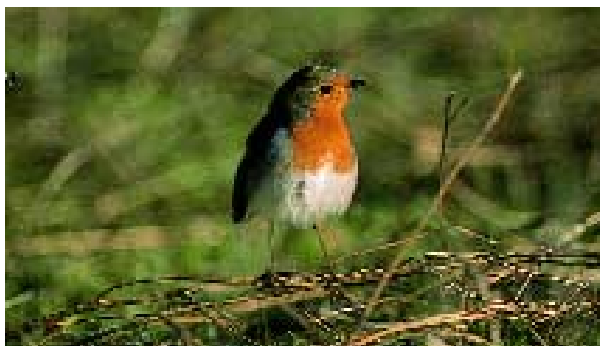


*Las centrales eléctricas cuentan con sistemas para proteger el medio ambiente de los efluentes que producen. Central térmica de Alcodia*

*Las centrales  
térmicas también  
producen calor  
residual*



*Lago de Sanabria (Zamora)*



*Petirrojo*



*Sierra cebollera (La Rioja)*



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

líquidos antes de su paso por etapas de neutralización, clarificación y filtración, que conducen en una etapa final a la generación de un efluente depurado, que se vierte al medio receptor, y de residuos, como los lodos. Estos precisan una gestión posterior adecuada, ya sea por vertido o por eliminación controlada. La gestión de los efluentes y residuos líquidos ha mejorado merced a la segregación de los efluentes y su depuración.

Si se produjera una modificación de los requisitos o de los valores límite de emisión de los vertidos, habría que proceder a una reconversión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las centrales eléctricas e incluso a su sustitución por nuevas instalaciones, con las lógicas consecuencias de tipo técnico y económico.

En efecto, el Reglamento sobre el Dominio Público Hidráulico estableció en su día los valores límite de emisión para determinados parámetros físicos y químicos aplicables a las descargas de efluentes líquidos al medio ambiente hídrico (aguas superficiales continentales) de instalaciones industriales, entre las que se incluyen las centrales térmicas.

Estos valores no pueden ser superados, de acuerdo con el artículo 251.1 del citado Reglamento, excepto en los casos de ciertas descargas que se consideran como de pequeña importancia.

Por otro lado, las resoluciones de autorización de las centrales térmicas contienen valores límite de emisión específicos para determinados parámetros físicos y químicos de las descargas de efluentes líquidos al medio hídrico receptor. Los efluentes o vertidos líquidos considerados tienen las siguientes procedencias:

- Agua de refrigeración no recirculada en centrales de circuito abierto (cloro libre disponible y cloro residual total).
- Purga de la torre de refrigeración (cloro libre disponible, cloro residual total, cromo total, cinc total, fósforo total y sólidos en suspensión).
- Purga de caldera y descargas de limpieza de equipos (sólidos en suspensión, aceites y grasas, cobre total, hierro total).
- Transporte de cenizas y otras descargas (sólidos en suspensión, aceites y grasas).
- Balsas de almacenamiento de lodos (pH y sólidos en suspensión).
- Lixiviados de pilas de carbón o del

*La gestión de efluentes y residuos líquidos se mejora con su segregación y depuración*



*Central térmica de Puente Nuevo*

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Lobezno de dos meses*



*Fresnedas en Manzanares (Madrid)*



*Oso pardo*

vertido de residuos sólidos (pH, sólidos en suspensión).

En dichas Resoluciones particulares, las descargas térmicas se restringen de tal forma, que los incrementos de temperatura del medio hídrico receptor no pueden superar el límite de 2,5 - 3o C (rango típico del límite del incremento de temperatura).

Por otra parte, el Real Decreto 927/1988, que incorporó al ordenamiento jurídico español la Directiva comunitaria 78/659/CEE sobre la calidad exigible a las aguas continentales cuando requieren protección o mejora para ser aptas para la vida piscícola (por ejemplo, aguas salmonícolas o ciprinícolas), contiene valores límite específicos para ciertos parámetros, entre ellos: incremento de temperatura, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, pH, DBO, fósforo total, nitritos, compuestos fenólicos, hidrocarburos de origen petrolero, amonio total, cloro residual total, zinc total y cobre disuelto.

A su vez, el Reglamento del Dominio Público Hidráulico establece el denominado "canon de vertido" que se aplica sobre las descargas de efluentes líquidos a aguas continentales procedentes de centrales térmicas, entre otras instalaciones industriales. La cantidad o coste asociado a la aplicación de dicho canon se obtiene multiplicando la "carga contaminante" por el "valor o coste de la unidad de contaminación". La carga contaminante se calcula multiplicando el volumen de descarga (m3/año) por su coeficiente específico, que depende del tipo de descarga y del grado de control de la misma. Las cantidades devengadas por dicho canon se ingresan en los Organos de Cuenca y se dedican a proteger y mejorar las aguas continentales de cada Confederación Hidrográfica.

### 3.4. Contaminación acústica en centrales térmicas

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. En otros casos, se han instalado pantallas reductoras.

La aplicación de las mejoras no se ha hecho de manera generalizada, sino que cada central ha realizado modificaciones de mayor o menor extensión, dependiendo de sus condiciones específicas, aunque es previsible que a corto plazo la próxima Directiva de Ruido Ambiental que se está negociando en el ámbito de la UE, incida en las medidas correctoras de las plantas de generación.

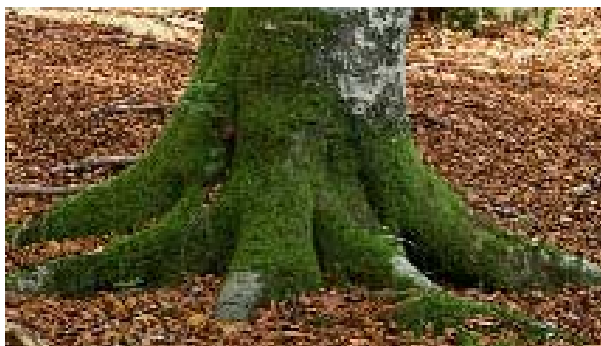


*Las centrales eléctricas disponen de sistemas para reducir los niveles de contaminación acústica. Central térmica de Aboño*

*El Reglamento del Dominio Público Hidráulico establece el "canon de vertido"*



*Pluma de arrendajo*



*Pié de haya*



*Amanita muscaria*



### 3. LAS CENTRALES TÉRMICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

#### 4. EL FUTURO DE LAS CENTRALES TÉRMICAS EN RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE.

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

En relación con las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ , se dispone de nuevas alternativas que serán aplicables en un futuro próximo. Estas abarcan desde la mejora y depuración de los combustibles, hasta la retención directa de los contaminantes, pasando por una disminución de las emisiones específicas (g/kWh) a través de mejoras de eficiencia o el ahorro energético. Así, pueden citarse los siguientes:

- 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 integrado en ciclo combinado.
- cogeneración.
- ciclos combinados.
- sistemas mixtos avanzados.
- aplicación de ciclos termodinámicos avanzados.
- sistemas de desulfuración y desnitrificación

*El sector eléctrico español investiga en tecnologías innovadoras*

Algunas de las posibilidades citadas se encuentran todavía en fase de desarrollo y no son viables económicamente. Otras, por el contrario, son plenamente aplicables en la actualidad. En este sentido, el sector eléctrico español continúa realizando una adecuada combinación entre la investigación en tecnologías innovadoras y la implantación de aquellas que son económicamente razonables.



*En la central térmica de Puertollano se investiga sobre "tecnologías limpias" del carbón*

En cualquier caso, se continuarán desarrollando programas de investigación relacionados con el uso limpio del carbón encaminados a convertir este mineral en energía del modo más favorable desde el punto de vista técnico y económico.

En el caso español, las particulares características que presentan muchos carbones nacionales introducen dificultades técnicas y económicas adicionales. Ello obligará al sector eléctrico a desarrollar al máximo su capacidad tecnológica y de innovación en este terreno.

#### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Águila culebrera*



*Hojas de roble*



*Lobo ibérico*

La utilización de carbón para la producción de electricidad constituye un reto, pero es también una fuente de oportunidades. El uso de tecnologías adecuadas, la mejora de rendimientos, la aplicación de sistemas de conservación y ahorro energético, la gestión eficaz de las materias primas y el reciclado de los subproductos, todo ello unido a un amplio esfuerzo en investigación y desarrollo, deben ser objetivos prioritarios para alcanzar niveles de producción competitivos y compatibles con las exigencias de calidad ambiental presentes y futuras.

La estrategia de reducción de emisiones acidificantes ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) de la Unión Europea, que a partir de los estudios realizados en el contexto del Convenio de Ginebra en la relación causa efecto dio lugar al Protocolo Multicontaminante Multiefecto con una reducción significativa para los países en el integrados, en un corto plazo dará lugar a la consiguiente Directiva comunitaria imponiendo techos nacionales de emisión. Como consecuencia de la reducción de estas emisiones en los contaminantes precursores se conseguirá una reducción directa sobre la producción de ozono troposférico y por lo tanto una mejora ambiental significativa.

Con referencia a los anteriores contaminantes ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) y además del material particulado cabe citar la reducción que se obtendrá previsiblemente como consecuencia de la revisión de la Directiva 88/609 que impone límites más estrictos sobre los focos emisores una vez sea aprobada durante el año 2001 con el objetivo de cumplir con los nuevos límites en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2012. Por otra parte los nuevos límites de inmisión involucrados en la Directiva Hija emanada de la Directiva Marco sobre calidad del aire, determina que en ambientes donde estos límites sean superados pueden inducir a reducciones más estrictas que las incluidas en las anteriores referencias legislativas para estos mismos contaminantes sobre el foco emisor.

De forma global la Directiva IPPC (Control Integrado de la Contaminación) y en concreto en las actuaciones de esta Directiva en el sector eléctrico supondrá, sobre la base de la utilización de las mejores técnicas y tecnologías aplicables, una mejora significativa de las emisiones de contaminantes en los diferentes medios naturales receptores en el año 2008.

La actual normativa así como las iniciativas legislativas en tramitación supondrán una mejora sustancial del medio ambiente en la que el sector eléctrico tendrá un peso específico importante.



*Vista nocturna de la central térmica de Teruel*

*La utilización del carbón para la producción de electricidad con las nuevas tecnologías continúa siendo una fuente de oportunidades*



*Foz de Arbayún (Navarra)*



*Frutos del loro*



*Bellotas de roble*



*Fauna y Flora Españolas*

---



*Buitre leonado*



*Valle de Iruelas (Avila)*



*Amanita muscaria*

## CAPÍTULO 4

---

### LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1. EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Los países que, como España, poseen un marcado clima continental en gran parte de su extensión, tienen la necesidad de regular la corriente de sus ríos, no sólo para garantizar el abastecimiento de agua de las poblaciones y su aprovechamiento agrícola, sino también para proteger a las poblaciones ribereñas de avenidas extraordinarias y para contribuir al desarrollo económico y energético.

A lo largo de su historia, el sector eléctrico español ha promovido un fuerte desarrollo del aprovechamiento de los recursos hidráulicos, en consonancia con la estructura orográfica y las condiciones hidrológicas del país. Ello le permite contar en la actualidad con una amplia experiencia y con tecnología propia, tanto en lo que se refiere al diseño y fabricación de equipos, como a los criterios de explotación y utilización de los recursos existentes.

*La electricidad de origen hidráulico es considerada hasta ahora como una alternativa energéticamente limpia*

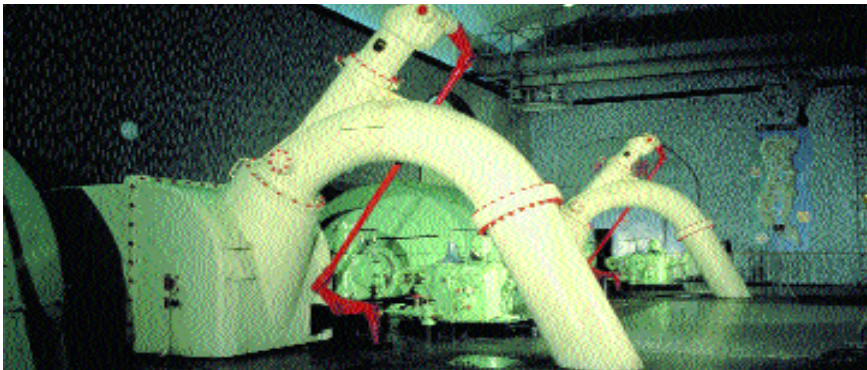
Las investigaciones promovidas en los últimos años tratan de profundizar en estas vías de desarrollo, no sólo a base de grandes instalaciones hidroeléctricas, sino también a través de un mayor aprovechamiento de numerosos pequeños saltos de agua mediante minicentrales. Y todo ello, poniendo un especial énfasis en la reducción de su impacto sobre el medio ambiente.

Desde el punto de vista medioambiental, siempre se ha considerado que la electricidad de origen hidráulico es una alternativa energética limpia. Sin embargo, no es ajena a determinados efectos ambientales. Por ello, en los últimos años se han desarrollado numerosos proyectos de investigación a fin de reducir el impacto sobre el entorno de los aprovechamientos hidroeléctricos.

#### 1.1 Tipos de centrales hidroeléctricas

La electricidad de origen hidráulico se obtiene transformando la energía cinética del agua en energía eléctrica, al mover una turbina hidráulica conectada a un alternador. El proceso se realiza en aquellos segmentos de la red hidrológica en los que es posible crear saltos de agua que pueden dar lugar a una producción hidroeléctrica razonable. La capacidad productiva de cada sistema depende del desnivel del terreno y de la aportación hídrica del curso de agua. El rendimiento económico, por su parte, está relacionado con el ajuste temporal que se consiga entre la producción y la demanda.

En general, se distinguen tres tipos de



*España es un país puntero en el desarrollo de la tecnología hidroeléctrica*

### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Murciélago de herradura*

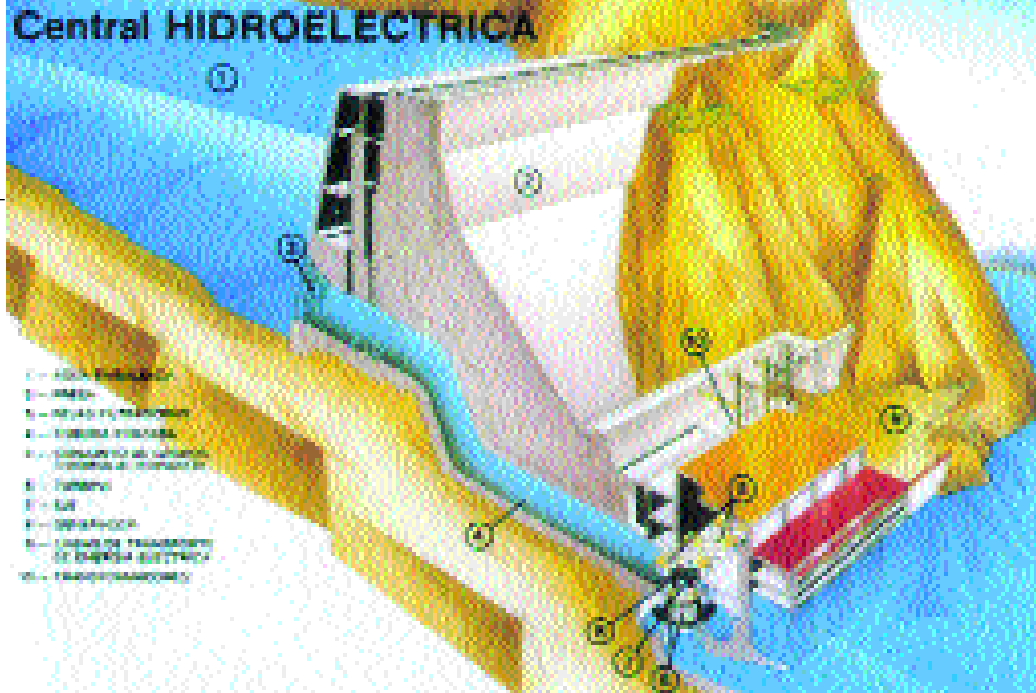


*Corteza de haya*



*Flores del brezo*

# Central HIDROELECTRICA



Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica conveccional

centrales hidroeléctricas: de agua fluyente, de regulación anual y con capacidad de regulación hiperanual. Las centrales de agua fluyente producen energía únicamente cuando el río lleva agua; las de regulación son generalmente de poca potencia, pero sirven de apoyo al sistema en puntas de demanda; y las de acumulación son las que están alimentadas por grandes embalses.

Como es lógico, la política hidroeléctrica debe adaptarse a la naturaleza de los recursos hídricos. En los cauces fluviales, la pendiente es inversamente proporcional al caudal, lo que hace que en los tramos de cabecera predominen las centrales movidas por saltos de poco caudal y mucha diferencia de cota. A medida que se va descendiendo por el curso del río, son más adecuadas las de mayor caudal y menor altura de salto. Entre las primeras, destacan las centrales de agua fluyente y las de regulación; y, entre las segundas, las de acumulación.

## 1.1.1 Impacto en el entorno

Las **centrales de agua fluyente** suelen consistir en un mecanismo de captación capaz de absorber un caudal fijo de agua que es conducido, manteniendo la cota, hasta un punto determinado donde se produce el salto. La central se dimensiona para un rango determinado de caudales, por debajo de los cuales no trabaja. En nuestro país, muchos de los aprovechamientos de estas características corresponden a lo que se conoce como minicentrales, las cuales operan generalmente en zonas montañosas. Su impacto medioambiental tiene que ver tanto con los tramos de río afectados, como con las laderas del valle por donde discurren las conducciones.

Los tramos de río afectados van desde la captación hasta el salto. Estos registran un descenso de caudal que en determinadas ocasiones puede llegar a suponer su total desecación. Como es lógico, las comunidades de organismos vivos que habitan en el tramo regulado por la central se ven afectadas en mayor o menor medida por las oscilaciones del caudal. Aguas abajo de la central, éstas se producen cuando la instalación funciona en régimen discontinuo, debido a la escasez de recursos hídricos; sin embargo, estos pulsos suelen amortiguarse en un espacio relativamente corto.

Las laderas se ven afectadas durante la fase de construcción de las conducciones de la captación, de los viales de servicio y de la propia central. En particular, las conducciones

Existen diversos tipos de centrales hidroeléctricas, en función de la orología de su emplazamiento



Ratonero



Bosque de Irati (Navarra)



Hojas de castaño



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

y viales pueden tener efectos negativos cuando se encuentran en zonas montañosas con laderas de fuerte pendiente y, por tanto, fácilmente erosionables. Las tuberías del salto pueden asimismo tener un impacto visual sobre el paisaje.

En las **centrales de regulación**, cuya misión es producir energía en horas de máxima demanda, el caudal de operación puede ser el detraído de un curso fluvial o el acumulado mediante instalaciones de bombeo. También existen centrales de acumulación con posibilidad de bombeo.

La alteración del caudal de los ríos producida por este tipo de explotaciones suele ser importante y se manifiesta en períodos de tiempo muy cortos, incluso con variaciones diarias. Esta modificación tiene como consecuencia el empobrecimiento de las comunidades de organismos que habitan en el tramo, ya que sólo algunas especies son capaces de adaptarse a las nuevas condiciones.

Las perturbaciones producidas en los lagos de montaña por las centrales de bombeo son debidas a la mezcla de agua y a las oscilaciones bruscas en su nivel. Por lo que se refiere a éstas últimas, la zona de fluctuación disminuye la calidad del paisaje, afectando asimismo a las comunidades vegetales de las márgenes y riberas del embalse.

Las **centrales de acumulación** son alimentadas por grandes embalses capaces de almacenar una parte importante de la aportación anual del río. El embalsamiento supone una serie de procesos físicos y biogeoquímicos que pueden alterar la calidad del agua. Lógicamente, estos problemas también se presentan en los embalses destinados a riegos u otros usos públicos, con los que las instalaciones hidroeléctricas funcionan frecuentemente de manera acoplada.

Por lo que se refiere a la calidad del agua, el verano es la época más conflictiva, ya que las aguas se estratifican térmicamente dificultando el transporte de oxígeno desde los niveles superficiales de la masa de agua hasta los más profundos. La ausencia de oxígeno puede producir la aparición de sustancias tóxicas y, dado que las turbinas funcionan generalmente con aguas profundas, puede darse la circunstancia de que las aguas vertidas por el aprovechamiento hidroeléctrico presenten falta de oxígeno o contengan alguna sustancia contaminante.

La turbinación puede introducir también anomalías en el ciclo térmico de los ríos que reciben las aguas en época de estra-

*Las "centrales de regulación" producen energía en horas de máximo consumo*



*Entorno, embalse y presa de la central hidroeléctrica de Buendía*

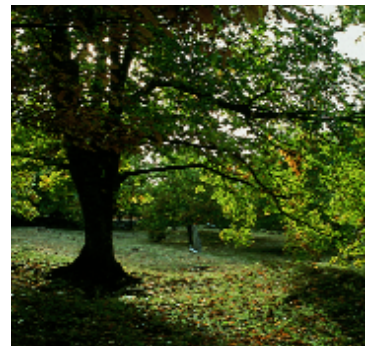
### Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Tilo*



*Lobo ibérico en invierno*



*Castañero en otoño*

tificación térmica del embalse, puesto que, si el agua vertida procede del fondo del embalse, el río aguas abajo recibe aguas más frías de lo que es habitual en verano.

Otros efectos ambientales de los embalses son el desequilibrio que generan en el transporte de materiales, la barrera que suponen para la migración de los salmónidos y otras especies, y la desecación temporal o permanente que pueden sufrir los cauces situados aguas abajo de los ríos.

### 1.1.2. Alteración de los caudales de los ríos

Para paliar las consecuencias de la alteración excesiva del caudal circulante que, sobre todo en épocas de estiaje, puede ocasionar la regulación del flujo natural del río, se aplica el criterio de "caudal ecológico", es decir, el caudal mínimo que debe circular por el cauce de un río para permitir el normal desarrollo de las poblaciones piscícolas que habitan en un determinado tramo.

Por otro lado, la regulación supone también una serie de beneficios, ya que mejora sensiblemente las características de los ríos y la calidad de vida de las poblaciones vecinas.

Como se ha señalado en el Capítulo II, buena parte de la investigación que realizan las empresas eléctricas en relación con el medio ambiente tiene lugar en el marco de un amplio programa de investigación denominado PIE. En él se encuentra un proyecto sobre "Evaluación de caudales ecológicos", cuyo objetivo principal es desarrollar una metodología y unos criterios que permitan determinar el caudal ecológico de un río regulado, haciendo compatible un alto rendimiento en el aprovechamiento hidroeléctrico con el adecuado desarrollo de las poblaciones piscícolas.

Para ello, es necesario caracterizar las comunidades biológicas, conocer sus ciclos vitales y cuantificar los parámetros ecológicos básicos. Además, se está estudiando la gestión ambiental de los embalses a fin de obtener criterios que permitan unos mínimos de calidad de las aguas turbinadas y la inclusión de factores medioambientales en los procesos de planificación de la operación de la central. Asimismo, se están poniendo a punto medidas correctoras de los cauces destinadas a incrementar las poblaciones piscícolas en los ríos que se han visto modificados por caudales mínimos. Estas medidas incluyen el acondicionamiento de los mismos para crear áreas de puesta, refugios, etc., y aumentar así la habitabilidad del tramo para determinadas especies.



*Central hidroeléctrica de Belesar*

*La regulación de los caudales ecológicos equilibra el rendimiento hidroeléctrico y el desarrollo de la población piscícola*



*Buho chico*



*Acebo*



*Hojas de haya*



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1.1.3. Modificación de las riberas por disminución del caudal de los ríos

La alteración del régimen natural del río que produce la construcción de un salto afecta a su caudal y, en consecuencia, a la aportación de humedad y de nutrientes a las riberas. Este efecto es especialmente acusado en riberas de fuerte pendiente.

Además, a causa del proceso de sedimentación que se produce durante la fase de embalsamiento, el agua presenta menor densidad tras el salto y, por tanto, una mayor capacidad de arrastre, lo que puede originar efectos erosivos, como el encajonamiento del río. El aumento de la erosión puede dar lugar, a su vez, a márgenes cortados verticalmente con tendencia al derrumbamiento, mientras que el encajonamiento del río se traduce en un descenso del nivel freático que puede dejar el agua subterránea fuera del alcance de las raíces de las plantas.

*Es necesario crear masas forestales para conservar el patrimonio ripícola y el asentamiento de los márgenes del río*

Este último efecto ha sido objeto de análisis por parte de un proyecto de investigación cuyo desarrollo ha permitido la obtención de una metodología para conocer la influencia de un embalse sobre el nivel freático de las tierras colindantes.

Dado que la vegetación de la ribera de un río está integrada por especies que se desarrollan sobre los sedimentos aluviales (terrazas) y lechos de avenida, y que este tipo de suelos se caracteriza tanto por ser rico en nutrientes, como por disponer de un manto freático al alcance de las raíces de las plantas, su desarrollo se ve fuertemente condicionado por la construcción de un aprovechamiento hidroeléctrico.

Es posible, por tanto, que se produzca aguas abajo del salto una alteración en la fisonomía de las riberas, tanto en lo que se refiere a su pendiente y relieve, como a su vegetación y a las comunidades biológicas asociadas. Para minimizar los efectos anteriores, es necesario crear nuevas masas forestales alternativas que permitan conservar el patrimonio ripícola, el reasentamiento de las especies animales relacionadas y el reforzamiento de las márgenes del río.



*Los embalses permiten el desarrollo de múltiples actividades de ocio en su entorno. Central hidroeléctrica de Entrepeñas*

### 1.2. Efectos ambientales de los embalses

Para identificar los efectos derivados de la construcción y explotación de un embalse, es necesario conocer sus características y dinámica, ya que éstas determinan de manera fundamental sus efectos sobre el entorno. Entre ellos, hay tres procesos que, por su importancia y el mayor conocimiento que de ellos se tiene, cabe destacar:

## Fauna y Flora Españolas *Bosque Atlántico*



*Tejón*



*Avellano*



*Corneja negra*

la eutrofización, el aterramiento y la estratificación térmica que tiene lugar en la mayoría de los embalses localizados en zonas templadas.

### 1.2.1. Eutrofización

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de las aguas del embalse en nutrientes, especialmente en nitrógeno y fósforo, que determina un aumento de su productividad. Ello conduce en último término a un deterioro de la calidad del agua por exceso de producción de algas en las capas superficiales y consumo excesivo de oxígeno en las aguas profundas. Este aumento en el consumo de oxígeno puede provocar el agotamiento de este elemento, impidiendo así el desarrollo de organismos en las capas profundas del embalse y favoreciendo la acumulación de sustancias reducidas (sulfuros, hierro, manganeso, amonio, etc.) que dificultan el aprovechamiento del agua. Cuando el proceso de eutrofización se produce de forma natural, es muy lento y difícil de apreciar, pero si se le suman los efectos debidos a la actividad humana (agricultura, vertidos de aguas residuales, etc.), se acelera considerablemente.

En los primeros momentos de la vida de un embalse, la inundación provoca la muerte y posterior mineralización de la vegetación de la cubeta inundada. Se libera así al agua una gran cantidad de nutrientes que puede determinar un mayor grado de eutrofia. En los años sucesivos, se produce una progresiva mejora de la calidad del agua, al ser lavada hacia los efluentes una parte de los nutrientes liberados. Se llega de esta forma a un estado estacionario de eutrofia, que varía según las peculiaridades de cada embalse.

Esta situación dura algunos años, hasta que, progresivamente, la eutrofia aumenta. El ideal de una buena gestión de la calidad del agua de un embalse es conseguir que el grado de eutrofia de la fase estacionaria sea bajo y que esta fase tenga una larga duración. Para conseguirlo, no hay fórmulas generales: cada embalse, según sus características, necesita un tratamiento diferente.

Con el fin de disminuir el grado de eutrofia del embalse en su fase inicial, las empresas eléctricas realizan deforestaciones de la cubierta vegetal del vaso del embalse antes del llenado. Ello permite disminuir la materia orgánica que se descompone una vez realizada la inundación, que es la que determina, en ausencia de otros aportes de nutrientes de origen antropogénico, el grado de eutrofia inicial.



*Embalse y central hidroeléctrica de Saucelle*

*La eutrofización produce un exceso de algas en las capas superficiales de agua en los embalses*



*Bosque de castaño*



*Oso pardo*



*Bosque de Irati (Navarra)*



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

La previsión del grado de eutrofia de un embalse es tarea difícil, cuando no imposible, aunque existen modelos sencillos que dan una idea del estado del embalse en función de un número variable de factores desencadenantes.

El problema de la eutrofización está siendo analizado por el sector eléctrico español en el marco del proyecto de investigación sobre "Evaluación de caudales ecológicos" anteriormente citado.

### 1.2.2 Aterramiento

El aterramiento es debido a que la construcción de un embalse en un curso de agua produce la retención de la mayor parte de la carga sólida transportada por el flujo. La cantidad de sedimentos depositada depende del volumen y geometría del embalse. Mientras que en los grandes embalses se deposita prácticamente la totalidad de las partículas que penetran en el vaso, en los embalses pequeños sólo lo hace una parte, de modo que los materiales de granulometría más fina (limos y arcillas) pueden continuar aguas abajo, suspendidos en la corriente.

En general, las partículas más gruesas se depositan en la cabecera del embalse y las más finas en su interior, aunque el modelo de deposición varía en función de diversos factores: cantidad y tipo de sedimentos, flujo de descarga del embalse, sistema de explotación, área superficial, geometría del vaso, oscilaciones del nivel, régimen de vientos y posible aparición de olas.

Este proceso de sedimentación se traduce en un aumento del poder erosivo del río aguas abajo del embalse y en una disminución de limos en las riberas. Y repercute en la fauna piscícola al modificar la aportación de los materiales necesarios para la construcción de frezaderos. Por ello, es necesario realizar un análisis de la sedimentación que va a tener lugar en un embalse en la fase previa a la construcción del mismo. En ausencia de mayor información, se puede suponer, como hipótesis inicial de trabajo, que existe una igualdad entre la erosión de la cuenca y la sedimentación del embalse.

Son numerosos los estudios que analizan el aterramiento, algunos de los cuales requieren un importante trabajo de campo. Entre los ya concluidos, destacan por su alcance y por la calidad de los resultados obtenidos dos proyectos de investigación realizados en el marco del PIE. En el primero de ellos, se ha desarrollado un método para la determinación de la vida probable de un embalse y las alternativas para el alar-



*Un atardecer en el entorno de la central hidroeléctrica de Cernadilla*

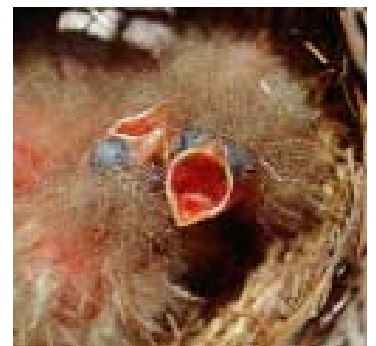
### Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



*Tortuga mora*



*Avión común*



*Polluelos de cogujada*

gamiento de su vida útil. Este proyecto ha exigido la realización de trabajos de campo en el embalse de la Torrasa, en el río Noguera Pallaresa, relativos a la topografía inicial de la cubeta, batimetría actual, columnas estratigráficas del sedimento y valoración de la materia en suspensión dentro del agua. Estas actividades han sido planificadas de modo que no coincidieran con épocas de pesca y no alteraran el entorno.

El segundo ha estudiado métodos para la predicción y el análisis de aterramientos, así como medidas correctoras para el embalse y sus alrededores. El proyecto ha permitido asimismo el desarrollo de un modelo matemático para la determinación de sedimentos en cualquier embalse cuya estructura sea parecida al de Talarn, que ha sido tomado como referente.

### 1.2.3. Estratificación térmica

La estratificación térmica tiene lugar, con mayor o menor intensidad, en la mayoría de los embalses de la zona templada de España, principalmente en verano. Esta estación es la época más crítica para la calidad del agua por el posible agotamiento del oxígeno en las capas del fondo. La predicción de esta situación es, por tanto, de gran trascendencia.

La estratificación térmica depende fundamentalmente de la geometría del vaso, del flujo y resistencia hidráulica, de la incidencia y velocidad del viento, y de la radiación solar.

En las épocas de estratificación térmica, se forman tres compartimentos en el embalse: uno superficial más caliente y menos denso (epilimnion), otro profundo más frío y denso (hipolimnion) y otro intermedio (metalimnion) donde los parámetros se manifiestan según gradientes muy intensos que hacen de frontera entre los dos anteriores. Como consecuencia de la inhibición de transferencias entre el epilimnion y el hipolimnion, la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación de residuos orgánicos (tales como fitoplancton muerto o restos vegetales del vaso) no puede ser repuesta. Si se produce un fuerte agotamiento del oxígeno, aparecen unas condiciones reductoras que pueden dar lugar a procesos de sulfuración, desnitrificación e incluso producción de metano.

La consecuencia lógica de las modificaciones físico-químicas del agua embalsada son la variación de estas mismas propiedades, bajo determinadas circunstancias, aguas abajo del embalse. Así, cuando la toma de agua del embalse se encuentra en los niveles más profundos de éste, el agua vertida es más fría, tiene una menor concentración de oxígeno y disminuye la aportación de arenas y gravas finas que circularían de no existir el embalse.



*El embalse de la central de Mequinenza contribuye a regular el caudal del Ebro*

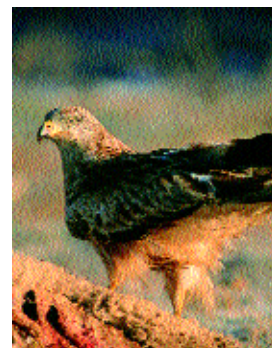
*La estratificación térmica tiene tres niveles, en función de la profundidad del embalse*



*Cañón del Río Lobos (Burgos)*



*Golondrinas*



*Milano real*



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

El vertido de aguas contaminantes puede paliarse mediante instalación de torres de tomas, instalación de dispositivos de aireación en los embalses o mejora de la gestión. No obstante, es importante señalar que las torres de tomas selectivas son muy adecuadas para embalses de abastecimiento urbano, pero no son compatibles en la mayoría de los casos con el aprovechamiento hidroeléctrico. La oxigenación del agua vertida, sin embargo, puede conseguirse instalando dispositivos de aireación, como válvulas de chorro hueco o estructuras en el cauce. En cuanto al empobrecimiento en arenas y gravas aguas abajo de la central, puede compensarse mediante la adición de estos materiales en las zonas adecuadas.

También pueden observarse alteraciones importantes aguas abajo del embalse cuando se procede al desaguado de fondo, operación que suele llevarse a cabo para comprobar el estado de los mecanismos, reparar averías o evacuar lodos. Por ello, y con el fin de reducir al máximo el impacto producido, deben diseñarse procedimientos específicos para cada embalse.

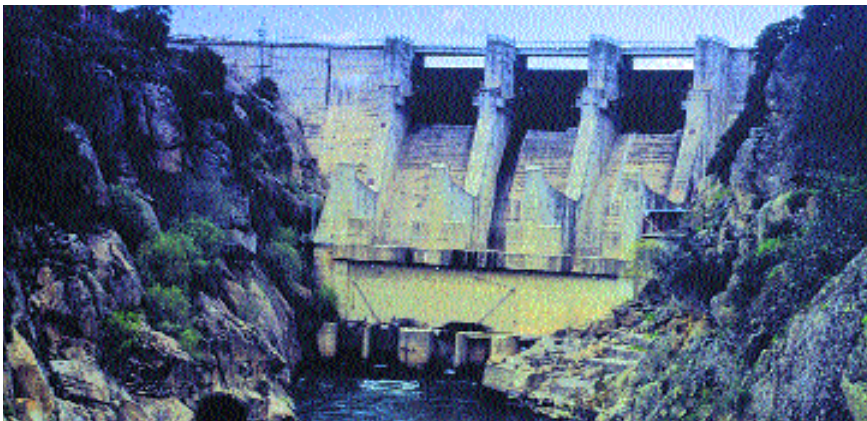
*Para las especies  
piscícolas  
migratorias  
(trucha, salmón,...)  
un embalse es un  
obstáculo en su  
camino*

### 1.3. Efectos ambientales no ligados a la calidad del agua

Otros efectos debidos a la existencia del embalse, pero no ligados específicamente a la calidad de sus aguas, son los que afectan a la posibilidad de reproducción y migración de ciertas poblaciones animales, los derivados de la creación de nuevas zonas húmedas, los debidos a oscilaciones del nivel del agua en el propio embalse y los que afectan a las características socioeconómicas del medio.

#### 1.3.1. Reproducción y migración de la fauna acuática y terrestre

Las especies piscícolas más afectadas son las que tienen un marcado carácter migratorio (trucha, salmón, anguila, etc.), ya que el embalse supone un obstáculo físico en su camino río arriba para realizar la freza.



*La situación de las presas es estudiada profundamente para lograr la máxima eficacia en términos técnicos, económicos y de seguridad. Presa de la central hidroeléctrica de Valdeobispo*

Este es un problema común a todas las centrales hidroeléctricas, sean del tipo que sean, que supongan la construcción de una estructura infranqueable o dejen un tramo de río seco. La solución es la construcción de dispositivos que permitan a las especies afectadas franquear el obstáculo. Existe una gran variedad de estructuras para este fin. Las más conocidas y empleadas son los pasos, las escalas y las esclusas.

Los **pasos** son instalaciones sencillas y de bajo coste. Pueden consistir en un canal fijado en diagonal sobre el dique que permite al pez ascender por él

## Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



*Tórtula*



*Gotas de rocío*



*Totóvia*

hasta superar finalmente el obstáculo por una escotadura superior. Otro tipo de paso son las caídas escalonadas, que dividen la cascada en varios niveles para permitir el paso de los peces de una a otra hasta que superan el obstáculo.

Las **escalas** constan de una serie de pequeños estanques o depósitos sucesivos, dispuestos en desnivel, que se comunican entre sí por medio de desagüeros, escotaduras, orificios sumergidos o hendiduras verticales. El desnivel entre los depósitos está en función de las especies migradoras, adoptándose generalmente valores de entre 30 y 65 cm. para las grandes migraciones de salmónidos y de entre 15 y 30 cm. para otras especies. El canal en el paso suele estar en función de la importancia del curso del agua, pudiendo variar desde 100 litros hasta varios metros cúbicos por segundo.



*Ejemplo de una escala instalada en el río Cares*

Las **esclusas** funcionan siguiendo un principio similar al de las que se usan en navegación: los peces son atraídos a un recinto y posteriormente elevados. Una vez introducidos en un compartimento, al que acuden atraídos por una corriente de agua u otros mecanismos más sofisticados, se inunda dicho compartimento, cerrando la abertura de salida e incrementando el flujo de entrada. Cuando el nivel de agua en el depósito interior alcanza el nivel superior del río, los peces pueden abandonar el recinto impulsados por simples dispositivos flotantes.

La elección del tipo de dispositivo de paso y su dimensionamiento dependen de numerosos factores y condicionantes de tipo biológico, hidrológico y topográfico: las especies migradoras presentes en mismo, las características hidrológicas del curso del agua, los niveles del agua y sus variaciones en período de migración, la configuración del obstáculo, la gestión del agua, el tipo de aprovechamiento, etc. La instalación de este tipo de dispositivos no es fácil y debe ser cuidadosamente analizada. En muchos casos, la inversión necesaria no se justifica, ya que su efectividad es dudosa y la modificación de las estructuras existentes en el aprovechamiento no siempre es viable.

En general, cuando existen varias especies migradoras, las escalas de peces son la mejor solución, ya que son menos selectivas que los pasos. Estos últimos, en cambio, presentan un gran interés para especies como el salmón y el reo, que superan obstáculos de poca altura.

Respecto de la fauna terrestre, el efecto más acusado es el de barrera, ya que el embalse puede impedir o dificultar los movimientos locales o migratorios de animales que sólo son capaces de atravesar cursos de agua estrechos o de pequeño caudal y, por tanto, de poca profundidad.

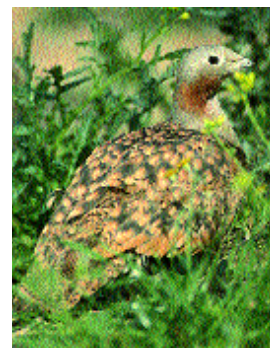
*Pasos, escalas y esclusas faciliten el paso a la fauna acuática*



*Campo de amapolas (Cuenca)*



*Polluelo de avutarda*



*Ortega*



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1.3.2. Creación de zonas húmedas y oscilaciones en el nivel del agua

En España, el factor regional que limita más el crecimiento de la fauna es la escasez de agua en los meses de estiaje. Por tanto, la creación de masas permanentes de agua es beneficiosa para las comunidades faunísticas terrestres, ya que les asegura la aguada.

Otro efecto beneficioso de éstas es la creación de nuevos ecosistemas aptos para la implantación de comunidades con hábitos acuáticos, que encuentran en los embalses un importante hábitat para su expansión biológica. Los embalses actúan también como alternativa, dada la etapa de regresión que en la actualidad sufren los humedales naturales.

Por lo que se refiere a las oscilaciones en el nivel del agua, éstas afectan a las laderas del embalse, y a la fauna y flora que en ella se asientan, de forma semejante a como ocurre aguas abajo del embalse.

Estos efectos pueden paliarse mediante la construcción de diques de contención de agua en la cola del embalse que, por su poca capacidad en relación con la de éste, permiten mantener un nivel constante de agua próximo al máximo y conservar así la vegetación de la ribera y sus comunidades asociadas.

### 1.3.3. Repercusiones socioeconómicas

Se pueden agrupar en alteraciones producidas sobre el sistema territorial, impactos sobre la población e impactos sobre el sistema económico.

Entre las primeras, cabe citar la modificación del sistema de relaciones territoriales, el cambio en la distribución de los usos del suelo y la modificación de la distribución de núcleos de población y del trazado viario.

Por su parte, la población puede verse afectada negativamente si se produce un aumento del éxodo por inundación del hábitat o por la pérdida del medio de trabajo. Pero también positivamente, ya que la construcción del embalse conduce en muchos casos a la creación de nuevos núcleos de población y puestos de trabajo; y supone la aparición de una nueva zona de interés paisajístico y con posibilidades deportivas y de ocio.

Las alteraciones que la construcción de un embalse puede provocar sobre el sistema económico son difícilmente

*Los embalses favorecen el desarrollo de nuevos ecosistemas*



Central hidroeléctrica de Belesar

## Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



*Almendra y cultivos*



*Cernícalo primilla*



*Estornino negro*



predecibles, ya que las tendencias no se ajustan a un modelo. Sin embargo, cabe suponer que se producirán efectos de distinto signo sobre los sectores primario (inundación de terrenos agrícolas, revalorización de fincas rústicas no inundadas, etc.), secundario (desaparición de establecimientos situados en el vaso y expansión de industrias de transformación y auxiliares) y terciario (mayor desarrollo turístico-recreativo).

Todos los efectos anteriormente descritos han sido tenidos en cuenta en la elaboración de los últimos Planes Energéticos Nacionales. Estos, aunque reconocen que las obras hidráulicas transforman irreversiblemente el curso de los ríos, destacan que su balance medioambiental es positivo, ya que protegen a la población humana frente a riesgos naturales -- por ejemplo, avenidas -- y potencian el crecimiento económico de manera compatible con el equilibrio ecológico general y la conservación del valor del patrimonio natural.



*Los embalses ayudan a prevenir los efectos de las avenidas. Embalse de la Central hidroeléctrica José María Oriol*

## 2. INTEGRACIÓN DE LAS INSTALACIONES HIDROELÉCTRICAS EN EL ENTORNO NATURAL.

Las empresas eléctricas españolas aplican diversas medidas para que las instalaciones hidroeléctricas queden adecuadamente integradas en el entorno natural.

Así, para integrar el edificio de la central en el paisaje es necesario que el proyecto se adecue a la tipología constructiva de la zona, conseguir un adecuado diseño del mismo y escoger correctamente los materiales que se van a utilizar en la construcción de muros y techado.

Una alternativa para ocultar las estructuras de la construcción civil que generan un efecto visual negativo sobre el paisaje es la plantación de árboles o arbustos que producen un apantallamiento de las obras. Para conseguir una pantalla vegetal eficaz, es necesario analizar el punto o los puntos en los que se sitúa el observador con mayor frecuencia, la altura de los elementos que se han de ocultar, la distancia entre el observador y estos elementos y la configuración del terreno.

Un factor que es necesario considerar al respecto es la estación o estaciones durante las cuales los vegetales deben bloquear la vista. En este sentido, las plantas de hoja perenne son las más eficaces para establecer una pantalla permanente.

*Las empresas eléctricas aplican medidas para que las instalaciones queden integradas en su entorno natural*



*Páramos en Segovia*



*Cigüeña blanca*



*Avefría*



## 4. LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y EL MEDIO AMBIENTE

El efecto visual sobre el entorno de la tubería forzada y los canales de derivación se puede corregir mediante su enterramiento y la revegetación posterior del área afectada por los movimientos de tierra. Una medida alternativa es pintar la tubería utilizando un color que permita su integración cromática en el paisaje.

Otra medida de integración en el entorno es la revegetación de taludes y terraplenes. Lo más habitual es que las superficies que se quiere recuperar carezcan de tierra vegetal. Por ello, es necesario aportar una capa rica en materia orgánica que facilite el arraigo y desarrollo de la vegetación. A tal fin, se puede acudir a los acopios obtenidos en la deforestación del vaso o en la apertura de las canteras. También es imprescindible realizar una adecuada selección de las especies que se van a emplear en la revegetación, teniendo en cuenta el uso previsto del suelo, las condiciones del clima y del sustrato, y las características de las especies vegetales que se van a emplear.

*Existen numerosos procedimientos para amortiguar los impactos sonoros y vibratorios en las instalaciones hidroeléctricas*

En relación con el impacto sonoro sobre el entorno, los ruidos de las instalaciones hidroeléctricas proceden casi exclusivamente de los equipos productores de energía, principalmente de los elementos rotativos. Las medidas para reducir sus efectos se centran principalmente en el aislamiento sonoro del edificio que los alberga. Pueden emplearse paredes simples suficientemente pesadas o paredes múltiples. Y es necesario asimismo evitar las fugas acústicas que se producen a través de los vanos -- puertas, ventanas, etc. --, defectos en juntas de albañilería, etc.

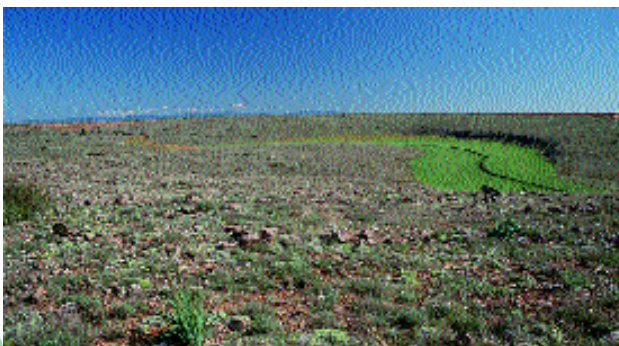
Existen también medidas de aislamiento que pueden aplicarse a la maquinaria o a las instalaciones para impedir la transmisión de las vibraciones a través del suelo y las paredes; y otras destinadas a lograr una buena amortiguación del ruido mediante el empleo de materiales y estructuras absorbentes del sonido.



*Cuando se construyó, las obras de la central hidroeléctrica de Aldeadávila constituyeron la mayor obra de ingeniería civil de Europa*

En cualquier caso, las medidas de insonorización deben quedar integradas en la fase de proyecto y no deben interferir en la adecuación del edificio al paisaje, ya que, si bien un edificio de gruesos muros de hormigón, prácticamente desprovisto de vanos al exterior, permite lograr una buena reducción de los niveles sonoros, su impacto visual sobre el entorno puede ser negativo.

### Fauna y Flora Españolas



*Campo de Montiel (Albacete)*



*Cernícalo vulgar*



*Amapolas*

## CAPÍTULO 5

---

### LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1. LA GENERACIÓN ELÉCTRICA NUCLEAR Y MEDIO AMBIENTE.

En la industria nuclear, las cuestiones relacionadas con el medio ambiente han evolucionado de manera diferente a como lo han hecho en otras actividades industriales. Quizá por la forma en la que la humanidad tuvo conocimiento de la energía nuclear -- a través de los efectos devastadores de su utilización militar --, esta forma de energía quedó inmediatamente etiquetada como "de alto riesgo". Esta percepción se vio asimismo fomentada por los efectos biológicos observados para las altas dosis de radiación y por la dificultad de evaluar con precisión los correspondientes, a largo plazo, a las dosis bajas; aún hoy esta percepción continúa en muchos ámbitos de la sociedad sin que los técnicos y científicos hayan tenido éxito a la hora de comunicar las diferencias entre su aplicación militar, ligada a las altas dosis, y su utilización pacífica, ligada a las bajas dosis que se traducen en general en efectos indetectables, si existen.

A pesar de que las centrales nucleares están libres de emisiones de los hoy conocidos como "gases de efecto invernadero", la consideración de la industria nuclear como de "alto riesgo" contribuyó a que el desarrollo de las centrales nucleares de producción de energía eléctrica se viera acompañado desde sus orígenes, a finales de los años cincuenta, de una especial preocupación por sus potenciales efectos radiológicos sobre las personas y el medio ambiente, tanto en su operación normal, como en caso de accidente. Por ello, desde sus inicios, se ha venido aplicando a la gestión de sus residuos el criterio de "concentración y confinamiento" y no el de "dilución y dispersión", que ha sido habitual en otras actividades industriales.

*Las centrales nucleares aportan una parte importante de la generación eléctrica española*

### 2. EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN LA LEGISLACIÓN NUCLEAR ESPAÑOLA.

Como ejemplo de lo anterior, cabe mencionar que España, antes de incorporar esta tecnología en los años 60, inició su marco legislativo. En diciembre de 1959, se promulgaron en España las primeras "Normas para la protección contra las radiaciones ionizantes", que recogían las recomendaciones vigentes de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Posteriormente, la Ley sobre Energía Nuclear de 1964, que regulaba la utilización pacífica de esta fuente de energía, estableció entre sus objetivos "la protección de vidas, salud y haciendas de los peligros derivados de la energía nuclear y de los efectos derivados de las radiaciones ionizantes", adquiriendo así rango de Ley lo que hasta entonces era práctica habitual.

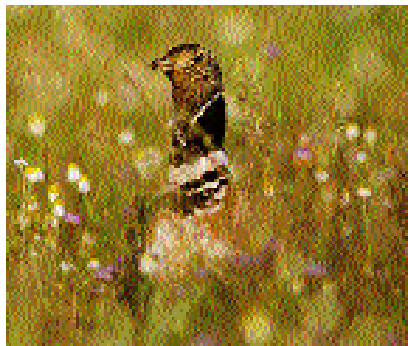


*Centrales nucleares en España*

## Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



*Zorro*

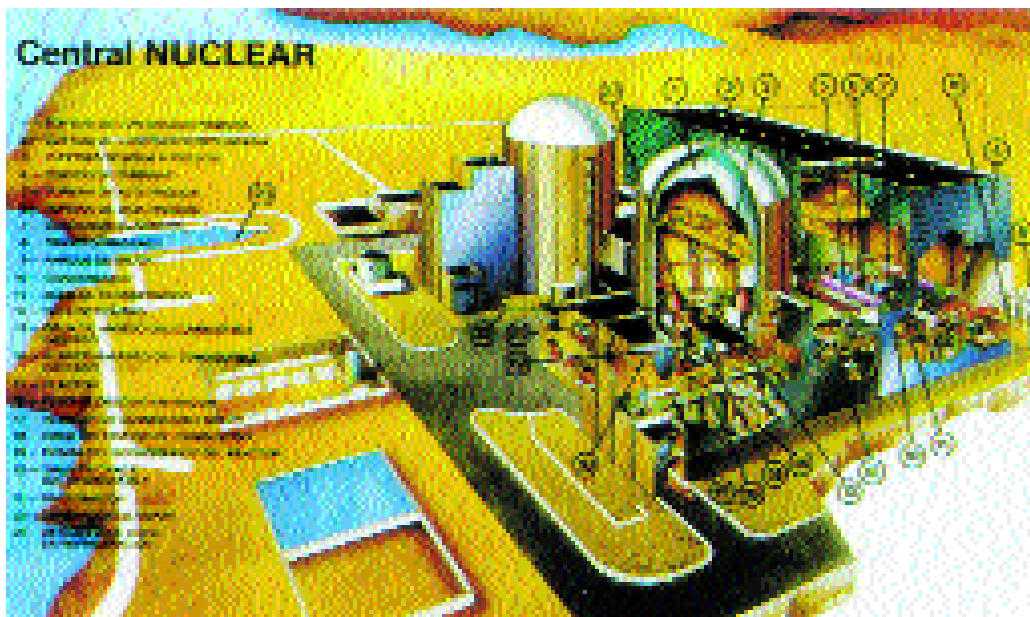


*Macho de sisón*



*Espiga de trigo*

Esta misma Ley encomendaba a la Junta de Energía Nuclear (JEN), creada en 1951, las tareas de vigilancia y control de los preceptos en ella contenidos. Dicho organismo optó por exigir a las centrales nucleares españolas el cumplimiento de la normativa que se aplicaba en los países de origen de los proyectos. Así, se incorporaban en la práctica al ordenamiento español las exigencias existentes en materia nuclear en otros países, entre ellas las relacionadas con el impacto medioambiental.



*Esquema de funcionamiento de una central nuclear*

El Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR) de 1972, al referirse a la documentación requerida para obtener las autorizaciones y licencias pertinentes, incluía la presentación del Estudio de Seguridad, que debería contener un Estudio Analítico Radiológico en el que se justificase de modo razonable que la instalación reunía las debidas garantías para la salud y seguridad de la población, tanto en régimen de funcionamiento normal como en caso de accidente. Dicho Reglamento exigía además el estudio del emplazamiento y de sus características geológicas, sismológicas, meteorológicas, hidrológicas, ecológicas, físicas y demográficas. Estos requisitos siguen actualmente vigentes al mantenerse en la revisión de dicho Reglamento aprobada en Diciembre de 1999.

En 1980, fue creado el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) como único organismo de la Administración competente en materia de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. En consecuencia, les fueron transferidas a dicho organismo las competencias que sobre esta materia venía desempeñando la Junta de Energía Nuclear. En su Ley de creación, se puso un mayor énfasis en los aspectos medioambientales de las radiaciones ionizantes, explicitándose entre las funciones del Consejo las tareas de control y vigilancia radiológica en el interior y en el exterior de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Tras la creación del CSN, se publicó, en 1982, el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes. Posteriores revisiones de este Reglamento han ido adaptándolo completamente al régimen de derecho europeo sobre protección radiológica establecido en la Directiva 96/29/EURATOM de la Unión europea.

A su vez, el Real Decreto 1302/1986 de evaluación del impacto ambiental regula en general, el efecto sobre el entorno natural de cualquier actividad industrial. En el ámbito nuclear, aporta como única novedad la exigencia de una coordinación entre el CSN el Ministerio de Medio Ambiente para la elaboración de la "Declaración de Impacto Ambiental" de cualquier obra, instalación o actividad que pueda producir un impacto radiológico sobre el medio ambiente.

*El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es el organismo competente en España en materia de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica*



*Lechuza*



*Campos de cultivo*



*Pareja de cigüeñas blancas*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

Para situaciones de accidente, el Plan Básico de Emergencia Nuclear, aprobado en marzo de 1989, establece la estructura organizativa, competencias y acciones que se han de seguir en el exterior del emplazamiento de una central en caso de accidente que suponga una descarga anormal de material radiactivo al entorno.

Entre esas medidas se incluye la vigilancia radiológica del entorno cuyas previsiones de actuación se recogen en los denominados Programas de Vigilancia Radiológica en Emergencia (PVRE). Asimismo, requiere la realización de simulacros periódicos que aseguren que los responsables de la ejecución de los planes de emergencia conocen adecuadamente sus obligaciones y están en condiciones de actuar correctamente en caso de emergencia real. También en esta área las centrales nucleares, que desde la publicación del RINR en 1972 están obligadas a disponer de un Plan de Emergencia, son pioneras en nuestro país en la planificación y previsión de las medidas que se han de tomar en situaciones de emergencia.

*El Tratado de Euratom exige a los Estados de la Unión Europea suministrar a la Comisión datos sobre la evacuación de residuos radioactivos*

Por último, cabe señalar que el artículo 37 del Tratado de Euratom exige a los Estados Miembros de la Unión Europea el suministro a la Comisión de los datos generales sobre todo proyecto de evacuación de residuos radiactivos que permitan determinar si la ejecución de dicho proyecto puede dar lugar a una contaminación radiactiva de las aguas, del suelo o del espacio aéreo de otro Estado Miembro.

Todas estas normas legales se complementan con un conjunto de normas y Guías de Seguridad elaboradas por el CSN que fijan o recomiendan la forma en la que han de cumplirse. Además, la línea de aplicación de la normativa hace que en España se tenga que analizar y cumplir, en su caso, cualquier otra normativa internacional -- o del país de origen del diseño de cada central nuclear -- que cubra aspectos que no hayan quedado cubiertos por la legislación española.

### 3. ASPECTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA.



Centro de control de la central nuclear de Ascó

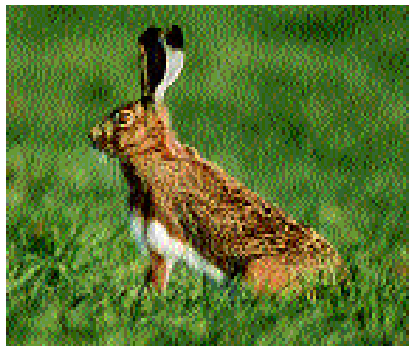
#### 3.1. Radiactividad, irradiación y contaminación radiactiva

La *radiactividad*, o *actividad radiactiva*, es la capacidad de determinadas sustancias, naturales o artificiales, para emitir radiaciones ionizantes, transformándose así en otras hasta convertirse finalmente en una sustancia estable o no radiactiva. El nivel de radiactividad de cualquier sustancia se reduce paulatinamente. Una de las características de estas sustancias es su período de semidesintegración, esto es, el tiempo que tarda la sustancia en reducir a la mitad su nivel de radiactividad.

### Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



Hoces del Riaza (Segovia)



Liebre ibérica



Semidesierto en Murcia

Los términos *irradiación* o *exposición* se refieren a la acción y efecto de someter a una persona o a un objeto a las radiaciones ionizantes. Se habla de irradiación externa cuando la fuente de radiación está fuera del individuo, mientras que la irradiación interna se origina por fuentes radiactivas situadas en el interior de su organismo.

La *contaminación* radiactiva es el incremento indeseado de sustancias radiactivas de origen natural o no natural en la superficie o en el interior de un objeto, cuerpo u organismo. En el caso del organismo humano, esta contaminación puede ser externa, o cutánea, cuando dichas sustancias se depositan sobre la piel; e interna, cuando los elementos radiactivos penetran en el interior del organismo a través de cualquier vía (ingestión, inhalación, etc.). La contaminación externa es fácilmente eliminable mediante el lavado de la superficie contaminada, mientras que la interna depende, por una parte, de la capacidad del organismo para eliminarla a través de vías naturales y, por otra, del período de semidesintegración de la sustancia.

### 3.2. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

Los efectos de las radiaciones ionizantes en un ser vivo dependen de la localización externa o interna de la fuente radiactiva, de la cantidad de sustancia y de las características de la misma que la hacen depositarse en unos órganos u otros, así como de la sensibilidad de éstos a la radiación que emite la sustancia contaminante.

Estos efectos son consecuencia de la absorción de la energía de la radiación por los organismos vivos. En tal caso, se producen ionizaciones y excitaciones en los compuestos orgánicos que constituyen la célula, con formación de radicales libres, dando origen a reacciones químicas que producen a su vez alteraciones en el funcionamiento de las células. Estas alteraciones, dependiendo de la dosis o cantidad de energía recibida, pueden producir fallos o modificaciones en el sistema de reproducción de la célula o, incluso, su muerte, como ocurre para muchos productos químicos que inhalamos o ingerimos.

La sensibilidad frente a las radiaciones varía mucho en función del tipo de célula. Es mayor en las células menos diferenciadas y con mayor capacidad de división. Depende también del momento del ciclo celular en el que se produce la irradiación. Los efectos sobre un órgano o tejido serán, por tanto, dependientes del tipo de población celular que lo compone. Se denominan órganos críticos a estos efectos, aquellos que se ven más afectados por la radiación y dan lugar a consecuencias más severas para el organismo. En el

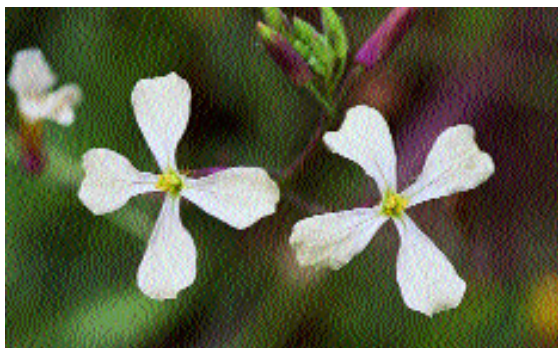


*Vista nocturna de la central nuclear de Cofrentes*

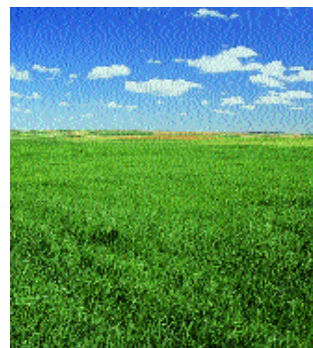
*La radioactividad es un fenómeno natural, y sus efectos varían según el tipo célula afectada*



*Triguero*



*Flora esteparia*



*Reserva de Villafáfila (Zamora)*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

ser humano los principales órganos críticos son la médula ósea, el intestino delgado o las gónadas.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes pueden clasificarse con arreglo a diferentes criterios. Los más usuales son: la relación causa-efecto entre la radiación recibida y los daños producidos, el tiempo transcurrido entre el momento de la irradiación y en el que se manifiestan las lesiones y, por último, la aparición de los efectos en el individuo o en sus descendientes.

En relación con la relación causa-efecto entre la radiación recibida y los daños producidos, los efectos se clasifican en deterministas (o causales) y estocásticos (aleatorios o probabilistas). En los deterministas, la gravedad de las lesiones es mayor cuanto mayor es la dosis recibida, ya que por debajo de una "dosis umbral" no se producen. Las altas dosis de radiación afectan a los tejidos que resultan más sensibles a la misma y que son de renovación rápida, como la médula ósea, el aparato digestivo, el sistema hematopoyético, la piel, los testículos y los ovarios.

Los estocásticos o aleatorios son efectos de tipo "todo o nada", es decir, pueden aparecer o no aparecer, por lo que su estudio es de carácter estadístico. Por ello, no puede establecerse un nivel de dosis por debajo del cual se tenga la seguridad de que no se vayan a presentar. De varios individuos que hayan recibido una misma dosis de radiación, algunos pueden sufrir estos efectos y otros no. Además existe la duda de la existencia de una "dosis umbral" por debajo de la cual, como para muchos otros contaminantes, no se producen efectos. Ante esta duda, la reglamentación, que es conservadora, parte del supuesto de que cualquier nivel de radiación conduce a un detrimento de la salud.

En función del tiempo en el que se manifiestan los efectos, éstos se clasifican en inmediatos, cuando aparecen entre unas horas y unas semanas, y diferidos, cuando aparecen algunos años después de haberse recibido la radiación.



Central nuclear de Vandellós II

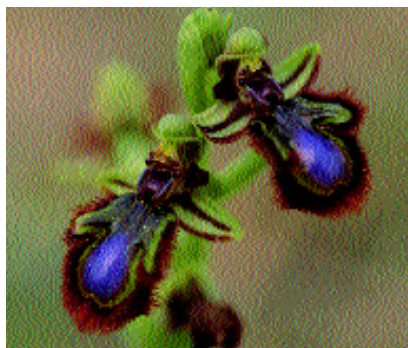
Por último, los efectos pueden dividirse en somáticos, cuando se manifiestan en el propio individuo que ha recibido la radiación, y genéticos, cuando dan lugar a lesiones en sus células reproductoras, por lo que pueden aparecer alteraciones en sus descendientes.

En el sistema internacional, la unidad de "dosis absorbida" es el Gray (Gy). Equivale a la absorción de un Julio de energía por cada kilogramo de materia. El Sievert (Sv) es, a su vez, la unidad

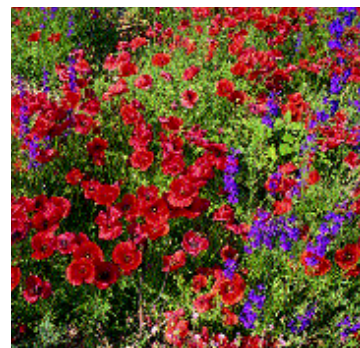
### Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



Avutardas



Orquídea en las Bárdenas (Navarra)



Barbecho en primavera

de "dosis equivalente" y se utiliza como medida del posible efecto biológico de la radiación. Esta dosis equivalente (Sv) es el resultado del producto de la dosis absorbida (Gy) por una serie de factores que tienen en cuenta las características de la radiación, la distribución de los elementos radiactivos en el organismo y la materia que absorbe la energía.

Las dosis altas de radiación que se reciben de forma instantánea generan efectos inmediatos de tipo determinista. Cuando la dosis es muy elevada, superiores a 100 Sv, se produce generalmente la muerte del individuo entre unas horas y unas semanas por problemas neurológicos. Entre 10 y 50 Sv se presentan lesiones gastrointestinales, que son generalmente fatales, entre una y dos semanas. Entre 3 y 5 Sv afectan principalmente a la médula ósea y los efectos varían en función de la dosis recibida. Por debajo de 3 Sv, prácticamente la totalidad de las personas que la reciben se recuperan. Y por debajo de 0,2 Sv, no hay efectos somáticos apreciables. Dosis agudas de 2 Sv en los testículos inducen en algunos hombres esterilidad temporal; los ovarios femeninos son algo más resistentes a este efecto.

Los efectos que se acaban de señalar varían cuando la dosis de radiación no se recibe de forma instantánea, sino durante un largo período de tiempo. En este caso, el comportamiento del organismo es diferente al anterior siendo, en general, las consecuencias menos graves.

Los efectos potenciales de las bajas dosis de radiación son genéticos y cancerígenos. Son muy difíciles de analizar, dado que el hombre está sometido de forma continua a la radiación natural (es decir, la radiación cósmica y la emitida por los elementos radiactivos naturales contenidos en la superficie terrestre e incorporados al organismo), así como a radiaciones de origen humano provenientes de usos médicos, explosiones nucleares y aplicaciones industriales. El mayor problema que se plantea para su identificación y determinación es que, dada su escasa incidencia, si es que existe, los efectos pueden quedar englobados o enmascarados por otras causas, diferentes de las radiaciones, que con mucha mayor frecuencia pueden producir aislada o simultáneamente efectos similares. Además, por su baja incidencia, y desde el punto de vista metodológico estadístico, es necesario estudiar muestras de población amplias y durante largos periodos de tiempo para que los resultados puedan ser significativos.

Debe contarse asimismo con una población comparativa de referencia y control que no haya sido expuesta a las radiaciones que se tratan de estudiar y cuyos factores ambientales sean los mismos.



*Perspectiva de la C. N. de Almaraz y panorámica del Tajo*

*El hombre está  
sometido de forma  
continuada a la  
radiación natural*



*Alcarabán*



*Bárdenas Reales (Navarra)*



*Grullas en Gallocanta (Zaragoza-Teruel)*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

Todo ello pone de manifiesto la gran dificultad de establecer una relación causal entre las bajas dosis de radiación -- menores o iguales a 5 milésimas de Sievert (mSv) -- y sus efectos genéticos o somáticos. En este sentido cabe mencionar que no se ha podido demostrar que dosis inferiores a 0,5 Sv incrementen la incidencia de cánceres, ni que dosis incluso algo más elevadas tengan efectos genéticos que provoquen alteraciones hereditarias. No obstante, el hecho de que después de 50 años de utilización de la energía nuclear no se haya podido establecer científicamente una clara relación causa-efecto entre los trastornos genéticos o somáticos y las bajas dosis de radiación no asegura su inexistencia. Por ello, toda la protección radiológica está basada en la hipótesis conservadora de que esos efectos existen y son proporcionales a la dosis recibida, lo cual es, en realidad, contradictorio con la capacidad de los organismos vivos para recuperarse de las lesiones que pueden sufrir.

En el Cuadro V.1 se recogen las estimaciones de las dosis procedentes de diversas fuentes a las que la humanidad está sometida de forma continua. Dichos valores han sido extraídos del Informe del año 2000 del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR).

*El riesgo de exposición en una central nuclear es el mismo que representa fumar un cigarrillo, viajar en avión 650 Km o 100 Km en coche*

**Cuadro V.1.**

| FUENTE                |  | DOSIS EFECTIVA ANUAL<br>VALOR MEDIO<br>(Población mundial)<br>(mSv) |
|-----------------------|--|---------------------------------------------------------------------|
| Fondo natural         |  | 2,4                                                                 |
| - Radiación Cósmica   |  | 0,4                                                                 |
| - Radiación terrestre |  | 0,5                                                                 |
| - Inhalación          |  | 1,2                                                                 |
| - Ingestión           |  | 0,3                                                                 |
| Diagnostico médico    |  | 0,4                                                                 |
| Centrales nucleares   |  | 0,002                                                               |

Además, se ha de tener en cuenta la gran variabilidad del fondo radiactivo natural respecto del valor medio anterior. Este valor del fondo depende de la altura y de los materiales del entorno pudiendo en algunos casos ser mas de 5 veces superior.

Por otro lado, es conveniente situar los riesgos de las radiaciones ionizantes a bajas dosis en relación con los demás riesgos de la vida cotidiana, ya que toda actividad humana lleva consigo un riesgo, por pequeño que éste sea. En un estudio comparativo llevado a cabo en Francia se ha visto que el riesgo que corresponde a la dosis de exposición máxima admisible de media jornada en una central nuclear o a una estancia de tres años cerca de la misma es el mismo que representa fumar un cigarrillo, viajar 650 Km en avión o 100 Km en coche. Esto, que puede parecer anecdótico, significa que la evaluación de un riesgo real debe hacerse no sólo en términos cualitativos o cuantitativos sino también comparativos, calculándose cual es la verdadera magnitud del mismo en relación a los demás riesgos de la vida.

### Fauna y Flora Españolas *Estepas y Páramos*



*Ratón de campo*



*Flora esteparia*



*Perdiz roja*

### 3.3. Los límites de las dosis de radiación

El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes fija los límites de las dosis que no deben ser superados, tanto los referidos al personal que trabaja en las instalaciones nucleares y radiactivas (denominado "profesionalmente expuesto"), como al público en general. Los límites se fijan para las dosis recibidas por el conjunto del cuerpo, por los órganos críticos y en función de diversos periodos de recepción de las mismas.

El Reglamento vigente en el momento de preparación de esta publicación establece, para el personal profesionalmente expuesto, un límite de dosis de 50 mSv para la totalidad del organismo, referido a cualquier período de doce meses consecutivos. Hay otros límites para órganos considerados individualmente, todos ellos superiores al anterior (150 mSv para el cristalino, 500 mSv para la piel, etc.).

Para el público en general, estos límites son mucho más reducidos; normalmente, están establecidos en torno a la décima parte de los permitidos para el personal profesionalmente expuesto, es decir, 5 mSv para el cuerpo entero, 15 mSv para el cristalino, 50 mSv para la piel, etc.

Dicho Reglamento está siendo revisado, para adaptarlo a la Directiva 96/29/EURATOM de la Unión Europea, estando prevista su publicación en los próximos meses. Los actuales límites se verán reducidos de modo que el personal profesionalmente expuesto no pueda recibir una dosis superior a 100 mSv en un período de 5 años consecutivos, sujeto a una máxima de 50 mSv en cualquier año natural. Asimismo, la dosis máxima para miembros del público será de 1 mSv por año natural. Los límites correspondientes a órganos individuales se mantienen en sus actuales valores.

### 4. LAS FUENTES DE IMPACTO AMBIENTAL DE LAS CENTRALES NUCLEARES.

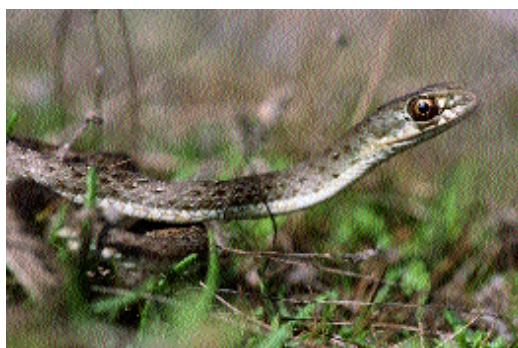
Las centrales nucleares transforman energía térmica en eléctrica al igual que lo hacen las centrales térmicas clásicas. La diferencia está en el proceso de generación de esa energía térmica. En las centrales nucleares la energía térmica se genera por un proceso de fisión nuclear. En las centrales térmicas clásicas la energía térmica se genera por la reacción química de combustión del combustible que utilizan, generalmente carbón, gas u otros combustibles fósiles. Por ello, las centrales nucleares no generan CO<sub>2</sub> ni otro tipo de gases de los denominados "de efecto invernadero".

Otro tipo de impactos ambientales como pueden ser el térmico, el químico proveniente del agua descargada, el climático producido por las torres de refrigeración, en su caso, o de los embal-



*Sistema de refrigeración en batería de la central nuclear de Ascó*

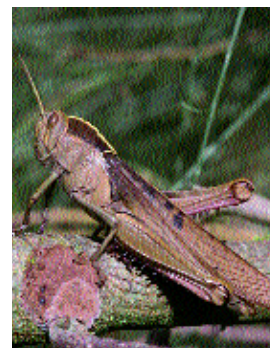
*El Reglamento de  
Protección  
Sanitaria contra  
Radiaciones  
Ionizantes fija el  
límite de dosis que  
no debe superarse*



*Culebra bastarda*



*Polluelos de calandria*



*Saltamontes*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

ses de refrigeración, el acústico, el visual o el social son similares al estar asociados no al proceso de generación de la energía térmica sino al proceso de transformación a energía eléctrica que es similar en ambos tipos de centrales. En la medida en que esta problemática queda ampliamente tratada en el Capítulo III, sólo se describen a continuación los impactos puramente radiológicos, es decir, los específicos de las centrales nucleares.

En las centrales nucleares no hay combustión. Estas centrales transforman en energía eléctrica el calor que producen los núcleos de uranio cuando se rompen por el impacto de neutrones.

Este proceso, denominado fisión nuclear, es el que tiene lugar en el "reactor nuclear" que se aloja en el interior de cada central nuclear. Es una reacción en la que el núcleo de un átomo de uranio, al ser bombardeado con neutrones, se descompone en dos núcleos atómicos más ligeros, desprendiendo una gran cantidad de energía en forma de calor y emitiendo dos o tres nuevos neutrones. La energía generada en cada una de estas reacciones de fisión es de unos 2 millones de veces la que se genera por la reacción química de combustión del carbón. Los neutrones emergentes pueden asimismo ocasionar nuevas fisiones al chocar con nuevos átomos de uranio que emiten, a su vez, nuevos neutrones. Este efecto multiplicador se conoce como reacción en cadena. Cuando sólo uno de los neutrones liberados produce una fisión posterior, el número de fisiones que tiene lugar por segundo es constante y la reacción nuclear se mantiene por sí misma y está controlada. Este es el principio en el que se basa el funcionamiento de las centrales nucleares.

Los nuevos núcleos atómicos que se generan en el proceso de fisión, y la activación de otros por absorción de los neutrones y otras partículas atómicas sobrantes, constituyen la fuente del impacto radiológico ambiental de las centrales nucleares. Estos subproductos, en su mayoría radiactivos, quedan confinados en el interior de la central, que dispone de varias barreras para separarlos del medio ambiente. No obstante, pequeñísimas cantidades de estos productos pueden llegar a atravesarlas. Son entonces sometidas a procesos de tratamiento de los que se derivan unos residuos y unos efluentes que se evacúan al exterior de forma controlada.

Como se ha indicado anteriormente, el impacto radiológico de las centrales nucleares viene siendo tenido en cuenta desde los orígenes de la industria electronuclear y se exige su estimación inicial mediante la presentación de Estudios Analítico Radiológicos. Se trata, pues, de una cuestión que se aborda desde la propia concepción del diseño de las centrales nucleares.

Entre los mecanismos de generación de residuos y efluentes, cabe citar, en primer lugar, los elementos combustibles gastados, que son residuos radiactivos sólidos. Por otra parte, algunos de los productos de fisión que se generan en el interior de las varillas de combustible pueden atravesarlas, si se producen defectos en las mis-

*En las centrales nucleares no hay combustión pero se producen residuos radioactivos que, temporalmente, se confinan dentro de la central*



*Cambio de un generador de vapor. Central nuclear de Almaraz*

### Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Frutos de sabina albar*



*Laguna de Manjavacas (Cuenca)*



*Delta del Ebro (Tarragona)*

mas, alcanzando y mezclándose con el refrigerante del reactor. Estos se añaden a otros productos de erosión y corrosión ya existentes en el refrigerante que se activan radiológicamente a su paso por el interior del reactor.

Para evitar concentraciones apreciables de estos productos en el refrigerante y disminuir las dosis que podría recibir el personal de operación al realizar las actividades de mantenimiento de los equipos, el refrigerante se purifica continuamente utilizando resinas de intercambio iónico y filtros. Los elementos de purificación y los concentrados de los sistemas de limpieza y purificación de la central, así como otros materiales que han podido sufrir activación o contaminación radiactiva, aunque sea ligera, constituyen residuos que, una vez solidificados, acondicionados y embidonados, se almacenan en la central hasta su retirada y almacenamiento en un emplazamiento definitivo.

Estos residuos, junto con otros materiales que hayan podido verse contaminados con material radiactivo como ropas, herramientas, etc. constituyen los residuos sólidos de baja y media actividad. Las corrientes líquidas resultantes de estos procesos se recogen por los sistemas de tratamiento de residuos líquidos que retienen, tratan y concentran para su reutilización o para su adición a los residuos que vayan a solidificarse. Los líquidos purificados se envían al exterior respetando los límites de vertido establecidos y constituyen los llamados efluentes radiactivos líquidos.

Por otro lado, los sistemas de desgasificación existentes en la instalación extraen los elementos radiactivos gaseosos no condensables de los demás sistemas de la central. Después de mantenerlos retenidos un tiempo adecuado para que descienda su nivel de actividad, son evacuados al exterior junto con el aire procedente de los sistemas de ventilación de los edificios, pasando previamente por filtros de partículas y de carbón activo. Estos gases evacuados son los llamados efluentes radiactivos gaseosos.

En resumen, las fuentes de generación de impacto radiológico ambiental que son específicas de las centrales nucleares son los efluentes gaseosos y líquidos, los residuos sólidos de baja y media actividad y los residuos sólidos de alta actividad.

Una vez que comienza la operación de la central, se efectúa un seguimiento continuo y exhaustivo de los niveles de radiactividad de los sistemas y componentes, de los niveles de descarga de los efluentes, de su grado de actividad y de la situación y condiciones de todos y cada uno de los residuos sólidos generados. Además, el impacto radiológico que los efluentes pudieran producir en el entorno se controla a través de Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRMA). Finalmente, se informa periódicamente al CSN de los efluentes descargados y de los resultados de su impacto radiológico en el exterior para su evaluación y control.



*Entorno y central nuclear de Santa María de Garoña*

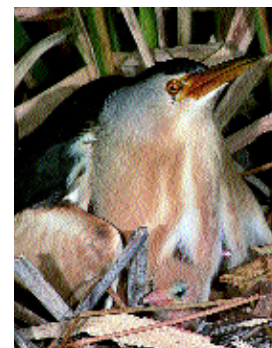
*Los efluentes  
radioactivos  
gaseosos, son  
controlados a  
través de los  
Programas de  
Vigilancia  
Radiológica  
Ambiental*



*Carrán patinegro*



*Parque Nacional de Doñana (Huelva-Sevilla)*



*Avetorriillo*



## CAPÍTULO 8

---

# LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

---

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

Las energías renovables son fuentes energéticas que se renuevan en la naturaleza de forma continua. Por el contrario, otras materias primas energéticas –como los combustibles fósiles o el uranio– tienen unas disponibilidades determinadas que se pueden agotar en un plazo más o menos largo.

Las energías renovables incluyen fuentes tales como la solar, la eólica, la biomasa, la geotérmica, la maremotriz, la energía de las olas, etc. Cabe advertir que, aunque la energía hidráulica es obviamente una energía renovable, tradicionalmente sólo se ha considerado en España como tal, a efectos de políticas de fomento, la aprovechada en pequeñas centrales hidráulicas (minicentrales) de una potencia individual igual o menor a 10 MW

La utilización de las energías renovables ha experimentado en los últimos años un importante crecimiento a nivel nacional e internacional que se ha traducido en un incremento de su aportación a la cobertura de las necesidades energéticas. Este impulso dado al aprovechamiento de las energías renovables se ha debido, entre otras, a las siguientes razones:

- Presentan ventajas medioambientales frente a los combustibles fósiles a los que sustituyen, pues tienen un menor impacto sobre el entorno. En particular, su incidencia en el medio ambiente atmosférico es prácticamente nula, evitando emisiones de CO<sub>2</sub> y la aparición de lluvias ácidas. No obstante, y aun siendo mucho menos contaminantes que las fuentes de energía tradicionales, no están exentas de un cierto impacto ambiental, por lo que no se les puede calificar en términos absolutos como "energías limpias".
- El aumento de su contribución al abastecimiento energético reduce la dependencia respecto del petróleo y contribuye a la diversificación de las fuentes de energía.

*Las energías renovables presentan ventajas medioambientales*



*Vista aérea de la plataforma solar Almería*

- Permiten un ahorro de energía primaria convencional por sustitución de la energía procedente de combustibles sólidos y líquidos.

Por lo que se refiere a España, fue la Ley de Conservación de Energía de 1980 la que dio un primer impulso al aprovechamiento de las energías renovables, para hacer frente a la segunda crisis del petróleo. Posteriormente el Plan Energético Nacional 1991-2000 fomenta la penetración de estas nuevas energías en el balance energético. Más recientemente, el Libro Blanco de la UE, la Ley del Sector Eléctrico de 1997 y el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, aprobado

### Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Caminero*



*Playas de Jandía (Fuerteventura)*



*Correlimos*



por el Gobierno en 1999, han respaldado con carácter definitivo estas políticas.

A nivel comunitario, se han elaborado diversos programas con objeto de aumentar la participación de las energías renovables en la producción eléctrica (Programa ALTENER) y de potenciar y favorecer el desarrollo, demostración e implantación de las nuevas tecnologías (Programas THERMIE, VALOREN, JOULE).

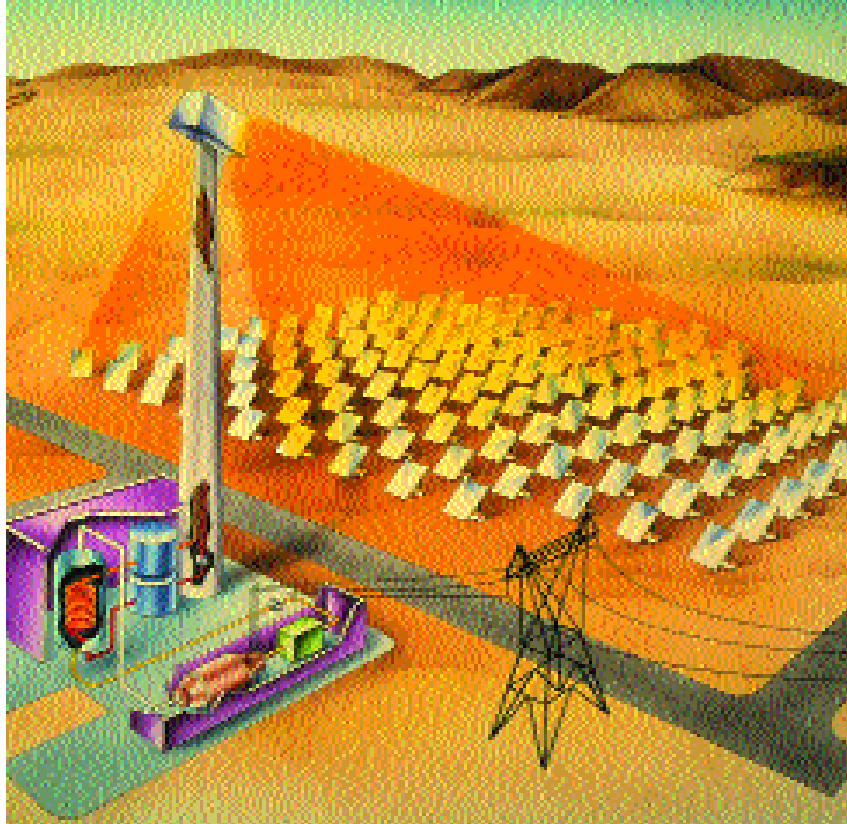
En particular, el Programa ALTENER tenía entre sus objetivos el conseguir una reducción de 180 millones de toneladas de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE entre 1991 y el año 2005 a través de las siguientes medidas:

- Un fuerte aumento de la contribución de las fuentes renovables a la cobertura de la demanda total de energía, pasando de una participación de menos del 4% en 1991 al 8% en el año 2005.
- Una multiplicación por tres de la potencia y la producción de electricidad a partir de energías renovables, que pasarían de 8 GW y 25 TWh en 1991, respectivamente, a 27 GW y 80 TWh en el año 2005.
- Una fuerte promoción de los biocarburantes, asegurándoles una cuota de mercado del 5% en el consumo total de combustibles en vehículos.

En muchos casos, la novedad asociada al uso de estas alternativas energéticas no reside tanto en la fuente energética en sí, sino más bien la tecnología que actualmente se emplea para su aprovechamiento. En efecto, fuentes renovables, como la eólica o la biomasa, han venido siendo utilizadas desde hace mucho tiempo para determinadas aplicaciones. No obstante, la puesta a punto de determinados avances tecnológicos está dando a su aprovechamiento una nueva dimensión.

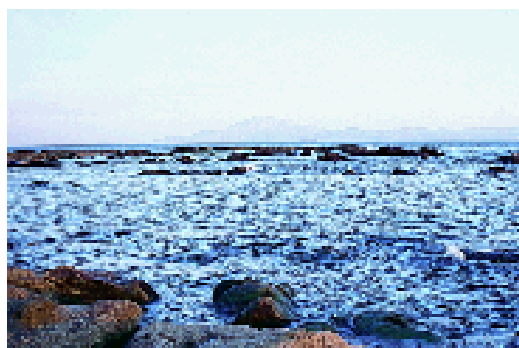
## 1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El aprovechamiento de la energía solar térmica consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, a su vez, y en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente, vapor o energía eléctrica. Tiene así lugar una absorción de energía solar y su transformación en calor.



*Esquema de funcionamiento de una central termo solar*

*Programas europeos para incrementar el peso de las energías renovables*



*Costa de Tarifa (Cádiz)*



*Calderón o ballena piloto*



*Azucena de mar*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar por vía térmica se suelen dividir en tres grupos:

- Sistemas de utilización de energía solar a **baja temperatura**, en los que el calentamiento del agua se produce por debajo de su punto de ebullición. La mayor parte de los equipos basados en esta tecnología se aplican a la producción de agua caliente sanitaria y a climatización.
- Sistemas de utilización de energía solar a **media temperatura**, que se emplean en aquellas aplicaciones que requieren temperaturas de entre 100°C y 300°C para calefacción, procesos industriales, etc.
- Sistemas de utilización de energía solar a **alta temperatura**, que se aplican, entre otros usos, en climatización, producción de vapor para uso directo y producción de energía eléctrica en centrales termosolares - alternativa que requiere temperaturas superiores a los 250°C - 300°C - .En este caso, los requisitos de concentración de la radiación solar son superiores a los que se obtienen con los procedimientos de media temperatura. Estos sistemas permiten conseguir temperaturas superiores incluso a los 2.000 C°.

*Sistemas de aprovechamiento de la energía solar a baja temperatura*

La principal instalación española de producción de energía eléctrica por vía termosolar es la Plataforma Solar de Almería, situada cerca del pueblo de Tabernes, un centro de investigación avanzada que cuenta con tres centrales en funcionamiento. En su momento fue un centro pionero de investigación a nivel mundial. Posteriormente estas tecnologías han caído en un cierto abandono y, en la actualidad se busca su relanzamiento.

Desde el punto de vista medioambiental, la producción de electricidad a partir de este tipo de sistemas tiene efectos positivos, ya que no genera emisiones atmosféricas, no produce vertidos líquidos y evita el uso de combustibles. No obstante, las grandes centrales termosolares pueden dar lugar a impactos sobre el paisaje y precisan de una elevada superficie, lo cual puede provocar conflictos con otros usos posibles del suelo.



*Edificio dotado de placas solares*

### 2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar por vía fotovoltaica permiten la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante las llamadas células solares o

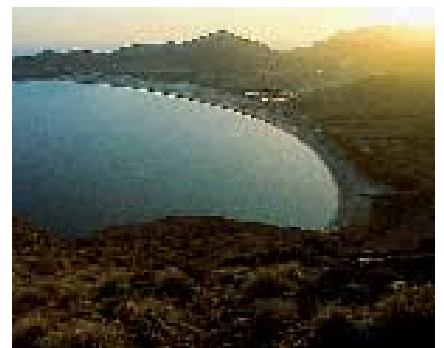
## Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Costa de Rota (Cádiz)*



*Flores de la chumbera*



*P. Natural de Cabo de Gata (Almería)*



células fotovoltaicas. Estas células, construidas con un material semiconductor cristalino, hacen posible la producción de electricidad a partir de la radiación solar en virtud del efecto fotovoltaico, a través del cual se transforma directamente la energía luminosa en energía eléctrica cuando dicha radiación entra en contacto con el material antes citado. El rendimiento de dichas células oscila entre un 9 y un 13%.

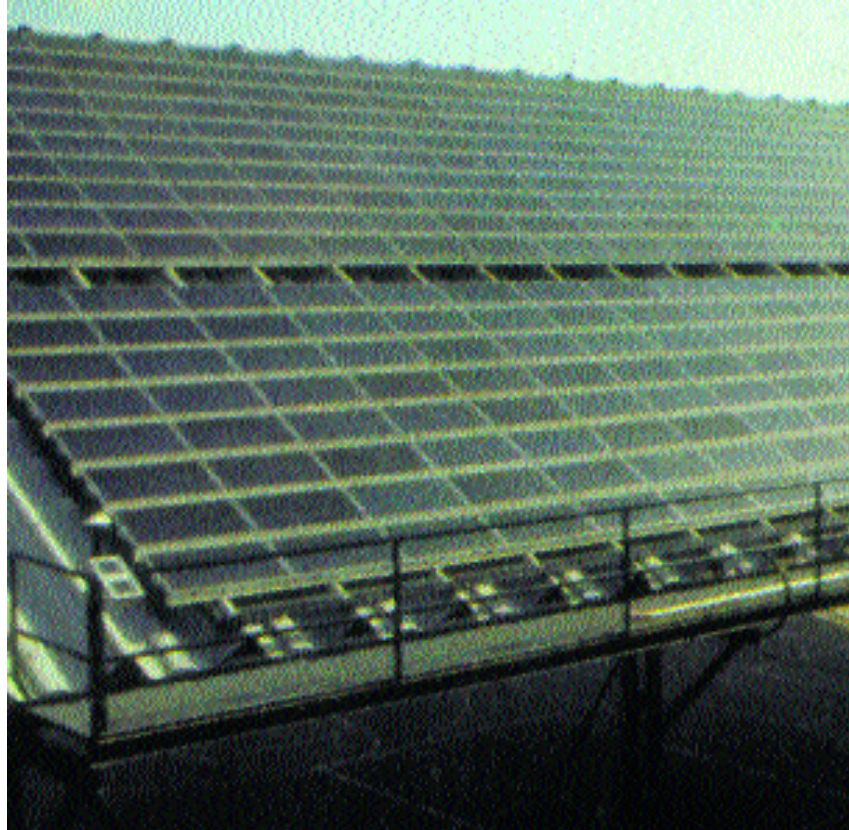
No obstante, el fenómeno descrito tiene lugar en unas dimensiones muy reducidas desde el punto de vista energético con la tecnología actualmente disponible, por lo que las aplicaciones potenciales son en estos momentos de escasa capacidad. A pesar de ello, y gracias a su sencillez, fiabilidad y operatividad, este tipo de sistemas tienen interés para generar energía eléctrica en el mismo lugar en el que se produce la demanda, si ésta es reducida y procede de puntos distantes de la red de distribución de energía eléctrica. Así, la energía solar fotovoltaica se utiliza en España para cubrir pequeños consumos de ámbito rural o asociados a ciertas infraestructuras.

El sector eléctrico español ha realizado un intenso esfuerzo de investigación y desarrollo dirigido a conocer y optimizar las posibilidades de utilización de este tipo de energía. Entre las instalaciones realizadas que están conectadas a la red cabe señalar la de Toledo, de 1.000 kW, y la de San Agustín de Guadalix (Madrid), de 100 kW; y, entre las que se encuentran aisladas de la red de distribución, la de la Isla de Tabarca (Alicante), de 100 kW.

A pesar del alto coste del kWh producido por este tipo de sistemas, que es consecuencia fundamentalmente del coste de las células, sus perspectivas a muy largo plazo son esperanzadoras, dado que las nuevas tecnologías y los nuevos materiales de fabricación de las células comienzan a ofrecer la posibilidad de importantes reducciones de costes mediante la disminución de los relativos a materias primas y energía, mejora de la eficiencia de las células y optimización de los procesos de producción.

En la actualidad existen en algunos países europeos políticas de fomento para facilitar la viabilidad económica de la interconexión de instalaciones fotovoltaicas a la red, con el fin de facilitar economías de escala en la producción e implantación de esta tecnología de forma que se permita su despegue.

El Plan de Fomento de Energías Renovables prevé un importante incremento de las insta-



*Central fotovoltaica de Mahón*

*Solar-fotovoltaica:  
perspectivas  
esperanzadoras*



*Aguja colinegra*



*Islas Sisargas ( La Coruña)*



*Pulpo*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

laciones fotovoltaicas y se plantea como objetivo pasar en España de los 8.7 MW instalados en 1998, con una producción estimada de 15.3 millones de kWh, a los 144 MW previstos en el año 2010, con una producción de unos 218 millones de kWh. De esta potencia, un 15% corresponderá a aplicaciones aisladas y el resto se desarrollará en instalaciones conectadas a la red de distribución.

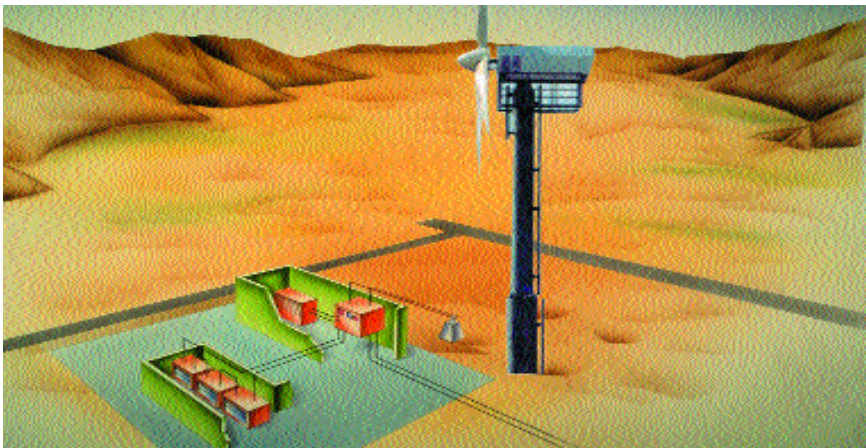
La incidencia de la energía solar fotovoltaica sobre el medio ambiente es reducida aunque el proceso de fabricación requiere elevados consumos de energía. No obstante, dado que la superficie ocupada por los paneles necesarios para instalar 1 kW de potencia oscila entre 6 y 10 m<sup>2</sup>, hay que considerar, en instalaciones de media o gran dimensión, la ocupación del suelo y el impacto paisajístico asociados. En este sentido, existen diferencias entre las instalaciones conectadas a la red y las aisladas, respecto del efecto sobre suelo y paisaje. Por otro lado, sus consecuencias socioeconómicas son positivas, ya que permiten efectuar el suministro en situaciones extremas en las que los procedimientos habituales de electrificación no son viables.

*En España los molinos de viento se utilizaban ya en la Edad Media para producir energía mecánica*

Finalmente, la rotura de los paneles o el desmantelamiento de estas instalaciones producen residuos, procedentes de las propias células fotovoltaicas, cuya correcta eliminación ha de ser tenida en cuenta.

### 3. ENERGÍA EÓLICA

El aprovechamiento de la energía eólica consiste en la transformación de la energía cinética del viento en energía eléctrica, a través de aerogeneradores, o mecánica, a través de aerobombas.

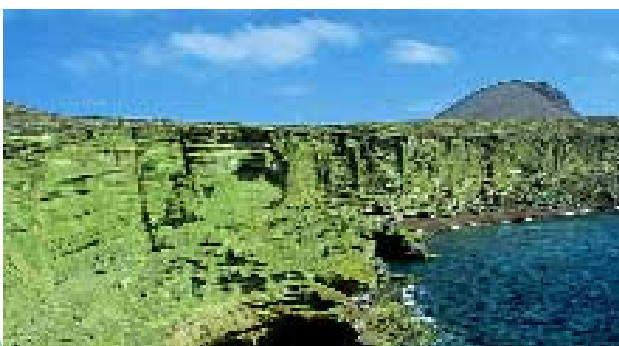


*Esquema de funcionamiento de un generador de energía eólica*

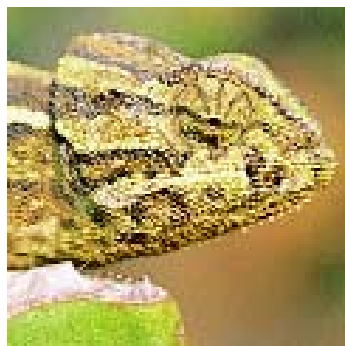
Cuando el objetivo de estas instalaciones es verter electricidad a la red de distribución, se utilizan aerogeneradores de potencia inferior por lo general a un MW agrupándose las máquinas, dando lugar así a los llamados parques eólicos. Cuando el objetivo es suministrar electricidad directamente a puntos de consumo alejados de la red de distribución - viviendas aisladas, granjas, explotaciones agrícolas, etc. -, se utilizan equipos de pequeña potencia, en general varias decenas de KW.

En España, y al margen de los molinos que aprovechaban la energía eólica con fines mecánicos desde inicios de la

## Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Alegranza (Lanzarote)*



*Camaleón*



*P. Natural de Cabo de Gata (Almería)*



Edad Media, que conocieron un gran auge a finales del siglo XIX y primer tercio del siglo XX, la utilización de aerogeneradores para generación de electricidad se inició en 1978 con la instalación de un prototipo de 100 KW en Tarifa (Cádiz).

Desde entonces, el esfuerzo realizado por el sector eléctrico en proyectos de investigación y demostración ha dado lugar a un notable desarrollo del aprovechamiento de la energía eólica para producción de electricidad que sitúa a España entre los países que han potenciado más esta forma de energía.

La elaboración de un Mapa Eólico Nacional permitió en su momento identificar zonas geográficas con alto potencial eólico en Canarias, Andalucía, Galicia y Valle del Ebro. El Plan de Energías Renovables integrado en el Plan Energético Nacional 1990-2000 permitió pasar de una potencia eólica instalada de 7.200 kW y una producción de 186.000 kWh en el año 1990, a una potencia de 1.360 MW y una producción de 2.670 millones de kWh en el año 1999.

El vigente Plan de Fomento de Energías Renovables, aprobado en diciembre de 1999 plantea como objetivo en el área eólica para el año 2010 alcanzar una potencia instalada de 8.974 MW con una producción anual de 21.500 millones de kWh.

Por lo que se refiere a su impacto sobre el entorno, los aerogeneradores eléctricos no producen emisiones contaminantes (atmosféricas, residuos, vertidos líquidos) y no contribuyen, por tanto, al efecto invernadero. No obstante, tienen consecuencias medioambientales que dependen fundamentalmente del emplazamiento elegido para su instalación, de su tamaño y de su distancia respecto de zonas de concentración de población. Estos factores influyen a la hora de considerar la realización de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Una instalación eólica de gran tamaño produce alteraciones en el medio físico - impacto visual, sobre las aves, ruido y erosión - y en el medio socioeconómico. Las primeras afectan sólo a la superficie ocupada y zonas colindantes.

El impacto sobre las aves es pequeño y de tipo fundamentalmente indirecto: posibles colisiones con líneas aéreas y con torres soportes de cables. De hecho, la colisión no suele producirse contra los aerogeneradores, porque las aves se acostumbran rápidamente a su existencia y a su movimiento, e incluso las migratorias desvían su trayectoria cuando el parque eólico se encuentra en la dirección de su vuelo.



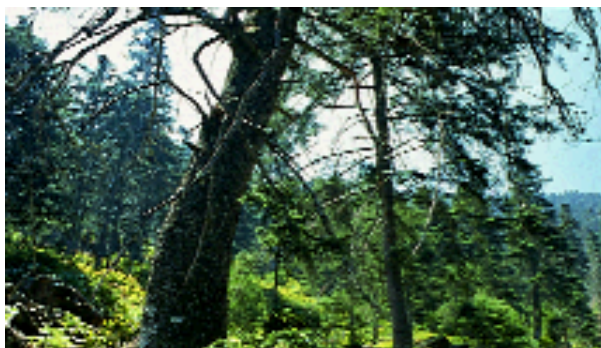
*Generadores de un moderno parque eólico*

*El objetivo de producción de energía eólica en el vigente Plan de Fomento de Energías Renovables para el 2010, es de 21.500 millones de kWh*

## *Fauna y Flora Españolas*    **Alta montaña**



*P. Natural de Grazalema (Cádiz)*



*Pinsapar de Sierra Bermeja (Málaga)*



*Hojas del Pinsapo*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

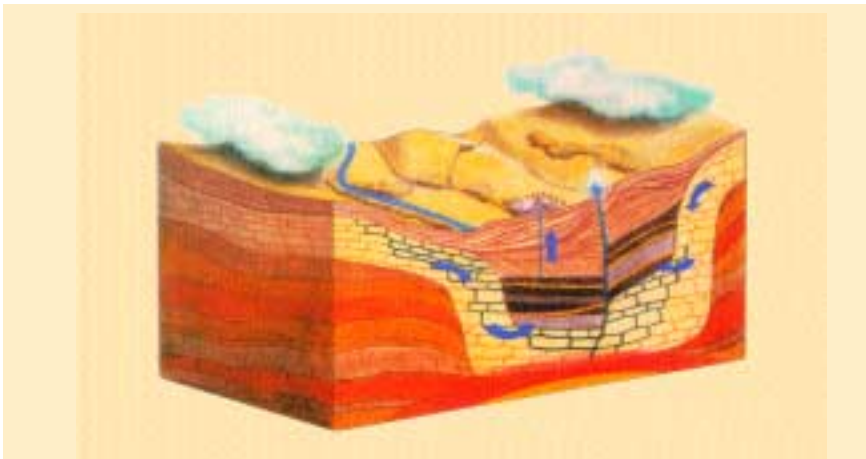
Los elementos característicos de una instalación eólica que producen impacto visual son los aerogeneradores, la caseta, las líneas eléctricas y los accesos a la instalación. Para evitarlo en la medida de lo posible, suelen emplearse colores adecuados, una inserción apropiada de las instalaciones en la orografía del lugar y una cuidada distribución de los aerogeneradores. En relación con los accesos, se evita al máximo el movimiento de tierras, recuperando inmediatamente la cubierta vegetal afectada y autorizando el paso únicamente al personal de las instalaciones.

Por otro lado, el impacto visual de estas instalaciones depende de criterios fundamentalmente subjetivos: mientras que un parque de unos pocos aerogeneradores puede llegar a ser incluso atractivo, una gran concentración de máquinas plantea problemas mayores.

En cuanto al efecto sonoro, un aerogenerador produce un ruido similar al de cualquier otro equipamiento industrial de la misma potencia, con la diferencia de que, mientras los equipos convencionales se encuentran normalmente encerrados en edificios o compartimentos diseñados para minimizar su nivel sonoro, los aerogeneradores deben trabajar al aire libre y cuentan con un elemento transmisor del sonido, que es el propio viento.

*Los parques eólicos producen impactos medioambientales de diversa índole*

En relación con los impactos por erosión, la mayor incidencia se produce por el movimiento de tierras en la preparación de los accesos al parque eólico. Esta incidencia se puede reducir mediante estudios de trazado y perfiles transversales del camino, así como análisis de impacto sobre la vegetación de las vaguadas y cursos de agua.



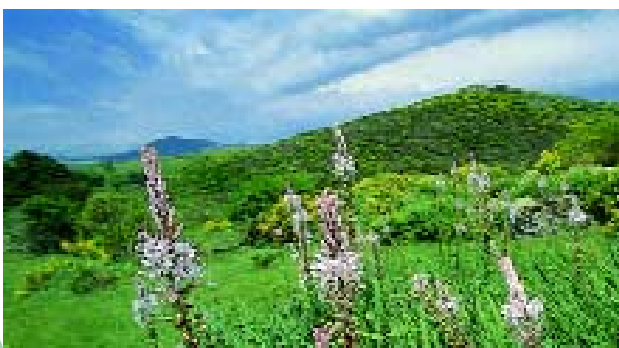
*La geotermia consiste en el aprovechamiento del calor interno de la tierra*

### 4. ENERGÍA GEOTÉRMICA

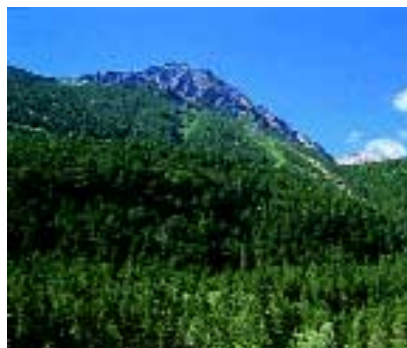
La utilización de la energía geotérmica consiste en el aprovechamiento del calor de los yacimientos de agua subterránea a **baja, media o alta** temperatura, o bien de **roca caliente seca**, para la obtención de agua caliente, vapor o electricidad. Un ejemplo importante de este tipo de aprovechamientos se encuentra en Reikjavik (Islandia), donde unas 100.000 personas disponen de calefacción gracias a las aguas termales de la zona.

La explotación de este tipo de energía se encuentra condicionada por la elevada inversión necesaria y por el hecho de que la demanda de energía debe estar próxima al recurso, dado que en

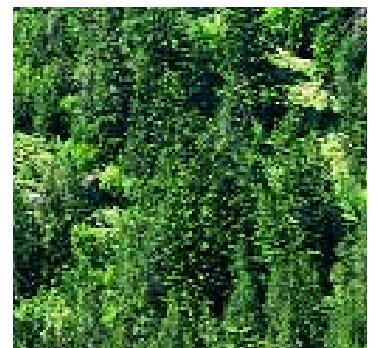
### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Sierra de Guadarrama (Segovia)*



*P.N. de Aigües Tortes (Lérida)*



*P.N. de Aigües Tortes (Lérida)*



la actualidad no se contempla la conversión de esta fuente de energía en electricidad.

El mayor potencial existente en España en el área de media y alta temperatura y roca caliente seca se halla en Canarias, pero la tecnología no ha alcanzado todavía el grado necesario de desarrollo para su explotación. El área de baja temperatura no presenta esta limitación y ya se han identificado diversos proyectos.

El Programa de Energías Renovables de 1990 no contenía objetivos de producción de energía eléctrica por medio de energía geotérmica y sólo preveía un pequeño aumento de 10 ktep en términos de producción de energía primaria con esta fuente energética en el período 1990-2000. El Plan de Fomento de Energías Renovables de 1999 tampoco contempla un aprovechamiento significativo de esta fuente energética para España.

La explotación de un yacimiento geotérmico tiene un impacto importante sobre la utilización del terreno - ya que requiere unas instalaciones de superficie en correspondencia con el proceso de explotación - y sobre el agua.

Los efectos más significativos sobre el suelo son la erosión y el hundimiento del terreno. Por otra parte, hay que tener en cuenta la producción de lodos durante la fase de perforación del pozo y la generación de un cierto nivel de ruidos durante la perforación y explotación de la planta. Asimismo, la producción, por la salida de gases incondensables durante la operación, genera cierta contaminación del aire, lo cual hace necesario el desarrollo de técnicas de control y sistemas de eliminación.

En cuanto a los efectos sobre el agua, han de ser considerados en una triple vertiente: la contaminación del agua, los efectos sobre la hidrología y el impacto sobre las disponibilidades locales de agua. Los dos primeros inconvenientes pueden paliarse reinyectando el fluido geotérmico utilizado en el mismo acuífero, cuidando de evitar la fuga de aguas residuales hacia los posibles acuíferos circundantes, con lo que además se regenera el yacimiento primitivo. Respecto del tercer efecto, es necesario un estudio preliminar del impacto de la explotación energética sobre las disponibilidades locales del agua para evitar cualquier tipo de perjuicio.

Estas alteraciones pueden incidir en los ecosistemas naturales del emplazamiento, lo cual exige la realización de la correspondiente Evaluación de Impacto Ambiental.

## 5. BIOMASA

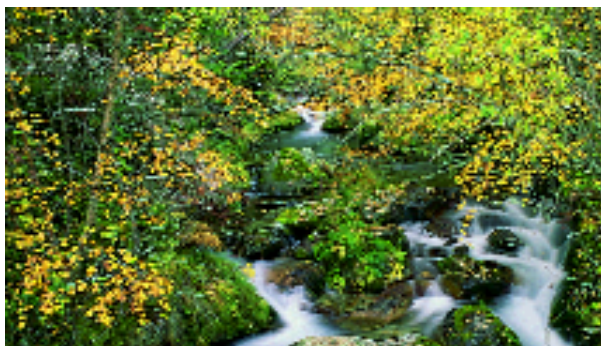


*Pequeño aprovechamiento de energía geotérmica en España*

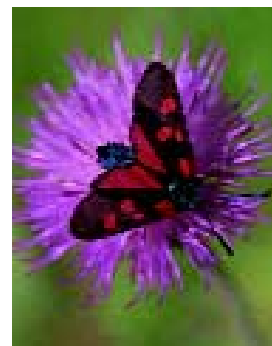
*El potencial  
geotérmico en  
España es  
pequeño*



*P.N. de Aigües Tortes (Lérida)*



*P.N. de Aigües Tortes (Lérida)*



*Mariposa zigena*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

La Biomasa es una fuente energética basada en el aprovechamiento de materias orgánicas de origen vegetal o animal, incluyendo los productos y subproductos resultante de su transformación natural o artificial. No se consideran biomasa los combustibles fósiles, ya que, aunque pudieran tener un origen similar, han sido profundamente transformados por la naturaleza a lo largo de muchos años.

En definitiva, bajo la denominación de biomasa se recogen materiales energéticos de muy diversas clases, como son: residuos forestales, residuos agrícolas leñosos y herbáceos, residuos de procesos industriales diversos, cultivos realizados con fines energéticos, materiales orgánicos contenidos en los residuos sólidos urbanos, biogás procedente de residuos ganaderos o de residuos biodegradables de instalaciones industriales, de la depuración de aguas residuales urbanas o de vertedero, etc. En un sentido amplio, también pueden incluirse bajo la denominación de biomasa los biocombustibles, resultado de la transformación de productos hidrocarbonados.

*La biomasa es una energía renovable que puede ser aprovechada con tecnología convencional*

Por consiguiente la biomasa incluye una numerosa lista de materias combustibles que se pueden aprovechar energéticamente de muy diversas formas, desde la más tradicional, la leña, que ha proporcionado calor a la humanidad durante muchos siglos y hoy en día todavía es fundamental para suministrar energía a muchos millones de personas de los países en vías de desarrollo, a formas más sofisticadas como puede ser la utilización del biogás en procesos de cogeneración eléctrica.

La biomasa es una energía renovable que se aprovecha, fundamentalmente, mediante un proceso de combustión con tecnologías más o menos convencionales. Como es sabido, la combustión de materia orgánica produce CO<sub>2</sub>, uno de los gases con mayor incidencia en

el efecto invernadero. Por tanto, la característica que más distingue a la biomasa del resto de energías renovables es la producción de CO<sub>2</sub>, en su consumo. Sin embargo, se considera que este efecto está compensado dado que el CO<sub>2</sub> originado en su combustión se ha fijado previamente desde la atmósfera en los elementos orgánicos objeto de combustión y, por tanto, su utilización no incrementa la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera

Actualmente, y a nivel mundial, la biomasa supone el 14% del consumo total de energía final, si bien una parte importante de esta energía no está



*Los bosques representan una fuente de energía biomásica*

### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Puerto de la Benaigüa (Lérida)*



*Quebrantahuesos (joven)*



*Pensamientos (Pirineos)*



contabilizada en las estadísticas porque aún no está comercializada en muchos países en vías de desarrollo e, incluso, en el ámbito rural de países desarrollados.

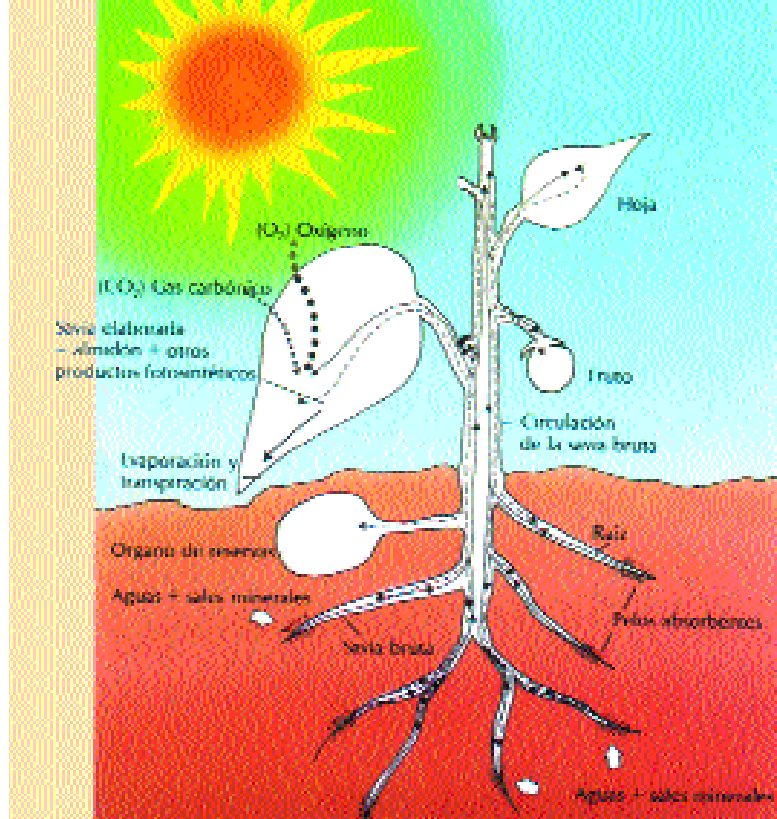
Así, la participación de la biomasa supone actualmente del orden del 50% del consumo de energía primaria en África y en la India, y entre el 15 y el 20% en China, Este Asiático y Latinoamérica. Estas regiones consumen anualmente unos 900 millones de tep de combustibles procedentes de la biomasa, frente a los 1.100 millones de tep en que se estima el consumo mundial de esta energía renovable.

Por otra parte, la biomasa es la fuente energética renovable más utilizada en los países de la Unión Europea. Aproximadamente el 55% de la producción de energía primaria con fuentes renovables de la Europa Comunitaria procede de la biomasa. En España, dicho porcentaje era el 51% en 1998.

Lógicamente, el consumo mundial de la biomasa para uso final irá reduciéndose en la medida en que se vayan desarrollando las economías de los países en desarrollo y sus habitantes tengan acceso a fuentes de energía comerciales más confortables. Por tanto irá en aumento la utilización de la biomasa para la generación de electricidad y para la producción de biocarburantes.

El Plan de Energías Renovables de 1990 no contemplaba la producción de energía eléctrica a partir de la biomasa. Su objetivo era conseguir un incremento de 427 ktep en la contribución de la biomasa al balance español de energía primaria en el período 1991-2000.

El Plan de Fomento de Energías Renovables de 1999, en cambio, pone gran parte de sus expectativas en el aprovechamiento de la biomasa en sus distintas formas, como elemento imprescindible para llegar al objetivo de penetración del 12% de las energías renovables en el balance de energía primaria nacional. Así, por ejemplo, prevé que la utilización de biomasa para producción de electricidad alcance una potencia instalada en 2010 de 1.900 MW y una producción anual de 14.000 millones de kWh, multiplicando por diez los niveles de 1998. En lo que a Residuos Sólidos Urbanos se refiere, se espera alcanzar los 260 MW instalados y producir unos 1.800 millones de kWh anuales, triplicando la producción de 1998. También se espera introducir el biogás para generación eléctrica, básicamente obtenido a partir de la fermentación anaerobia de depuradoras de aguas residuales y de R.S.U., instalando unos 80 MW en pequeñas plantas que producirían unos 550 millones de kWh al año.



*Formación de biomasa por efecto de la fotosíntesis*

*En África y la India la biomasa genera el 50% de la energía primaria consumida*



*Valle de La Gola (Lérida)*



*Flora pirenaica*



*Cabra montés de Gredos*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

En lo que se refiere a usos térmicos directos, se prevé incrementar la utilización de la biomasa en 900.000 tep en el período 1998-2010, alcanzando los 4.4 millones de tep en el año horizonte.

La biomasa tiene un impacto limitado sobre el medio ambiente, pues contribuye a paliar el efecto invernadero y promueve la utilización racional de los residuos y, en ocasiones, la reforestación de grandes áreas. No obstante, su utilización presenta los inconvenientes medioambientales asociados a los procesos de combustión, si bien la emisión de partículas y de óxidos de azufre y nitrógeno es menor que en los procesos convencionales.

### 6. ENERGÍA MINIHIDRÁULICA

Tradicionalmente, las centrales hidroeléctricas han sido clasificadas en España en dos grandes grupos: pequeñas centrales o minicentrales con una potencia instalada igual o inferior a 10 MW y grandes y medianas centrales con una potencia instalada superior a 10 MW.

*La crisis del petróleo fomentó la recuperación y desarrollo de las minicentrales*

Durante el fuerte desarrollo de grandes instalaciones hidroeléctricas que tuvo lugar en España entre 1940 y 1970, muchas de las pequeñas centrales, de principios de siglo, se vieron progresivamente abandonadas. Además, en los años sesenta, el bajo precio del petróleo favoreció la construcción de grandes centrales térmicas e hizo que otras opciones energéticas pasaran a segundo plano, lo que provocó el cierre de muchas de las pequeñas centrales existentes.

La llamada "crisis del petróleo" de los setenta fomentó la utilización de los recursos energéticos autóctonos y de las energías renovables, lo que volvió a poner de actualidad las minicentrales hidroeléctricas, que pasaron desde entonces a ser consideradas como energías renovables al mismo nivel que la solar, la eólica, etc., con la ventaja añadida de que la tecnología de estas centrales estaba ya suficientemente desarrollada. Como consecuencia del renovado interés por estas instalaciones, la Administración y las empresas eléctricas pusieron en marcha un Plan de minicentrales en 1981 para la recuperación de un centenar de estos aprovechamientos.



*Los residuos agrícolas también se utilizan para generar energía eléctrica*

Asimismo, durante la década de los ochenta tuvieron lugar varias iniciati-

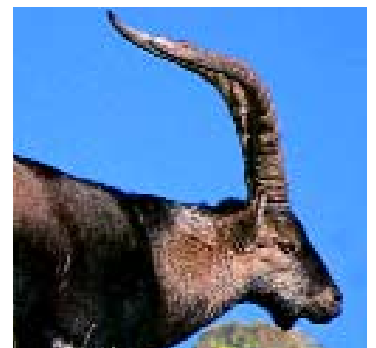
### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Sierra de Gredos (Ávila)*



*Sierra de Gredos (Ávila)*



*Cabra montés de Gredos*



vas legales - en particular, la Ley 82/80 de 30 de diciembre sobre Conservación de la Energía y el Real Decreto 1217/1981 de 10 de abril - para el fomento de la producción hidroeléctrica en pequeñas centrales, promoviendo la construcción, ampliación, automatización o adaptación de instalaciones con una potencia de hasta 5.000 KVA (5 MW).

Este interés por la energía minihidráulica se encuentra también reflejado en el Plan de Energías Renovables de 1990, que preveía un notable aumento de la potencia y de la producción de las minicentrales hidráulicas en la pasada década.. De esta forma, la energía minihidráulica en el año 1998 presentaba en España una potencia instalada de 1.510 MW y producía 4.860 millones de kWh lo que suponía un 58% de la producción eléctrica con energías renovables (exceptuada la producción en centrales hidráulicas de más de 10MW).

El Plan de Fomento de Energías Renovables prevé la incorporación de 1070 MW en pequeñas centrales hidroeléctricas hasta el año 2010, 720 MW en centrales de menos de 10 MW y 350 MW en centrales entre 10 y 50 MW. Estas centrales incorporaran una producción media anual de unos 2.900 millones de kWh.

Cabe subrayar que las posibilidades de desarrollo minihidráulico son considerables por la abundancia de recursos potencialmente explotables y el renovado interés por la realización de inversiones en esta área. El plan de Fomento de Energías Renovables prevé que en el año 2010 exista en España una potencia instalada de 2.230 MW con una producción en año medio de 6.900 millones de kWh en centrales de menos de 10 MW.

El impacto medioambiental de este tipo de centrales es, en general, reducido, esto es, semejante al de las centrales hidroeléctricas de mayor tamaño, pero a muy pequeña escala, ya que estas instalaciones no tienen una gran capacidad de regulación, ocupan poco espacio y las medidas correctoras son sencillas de aplicar y muy eficaces. Normalmente las alteraciones más reseñables se producen durante la etapa de construcción y se pueden subsanar con medidas apropiadas.

En general estas pequeñas centrales no están dotadas de embalse, con lo cual su implantación no conlleva problemas de ocupación de terrenos ni expropiaciones, ni los posibles problemas a que da lugar la creación de grandes masas de agua.



*En las últimas décadas se han recuperado numerosas minicentrales.  
Minicentral en el río Sil (Orense)*

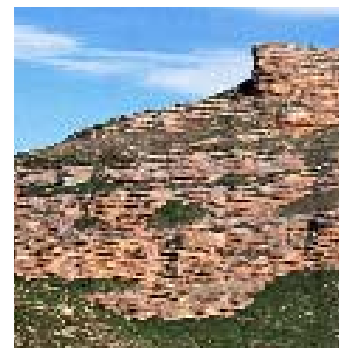
*España tiene  
grandes  
posibilidades para  
el desarrollo de  
minicentrales  
hidráulicas*



*Pirineo Navarro*



*Flora de Gredos*



*P.N. Sierra de Guara (Huesca)*

## 8. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 7. LA ENERGÍA DE LOS OCÉANOS

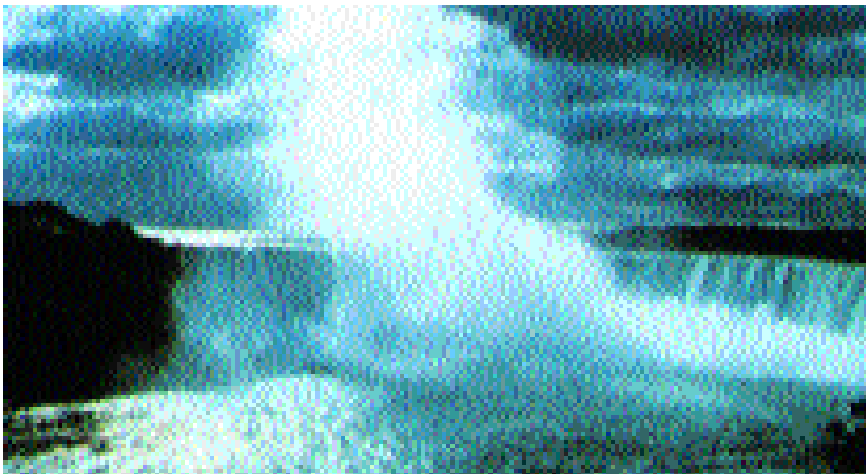
El potencial energético de los mares y océanos tiene su origen en el hecho de que el agua que contienen constituye un inmenso colector de energía solar. Este potencial energético se manifiesta, fundamentalmente, de tres formas: la energía de **las mareas**, la energía de **las olas** y la energía **térmica de los océanos** derivada de las diferencias o gradientes salinos o térmicos existentes entre las distintas profundidades de los mismos.

Las elevaciones –flujos– y descensos –reflujos– del mar provocadas por las mareas pueden ser aprovechadas para la producción de energía eléctrica. No obstante, a pesar de que se están realizando actualmente ensayos en varios países, todavía no se ha podido poner a punto un sistema eficaz para su explotación comercial.

En España, aún perduran algunos molinos de marea en el litoral Cantábrico con una potencia máxima de unos 50 CV. No obstante, y a pesar de la amplitud de marea aprovechable, la configuración de las ensenadas no permite acumular un caudal importante. Por otra parte, se han estudiado las condiciones de aprovechamiento de la energía maremotriz en algunos puntos de la ría de Vigo. El grave inconveniente que se opone al aprovechamiento de las bahías y ensenadas como productoras de energía maremotriz es el pequeño rango o amplitud de las mareas –máximo de 4 metros– que éstas tienen en la costa de la península ibérica.

Algunos proyectos y emplazamientos de centrales maremotrices pueden tener consecuencias sobre el equilibrio ecológico. En este sentido, el cambio de rango de las mareas, las corrientes y oleajes que pueden resultar de la instalación de diques, cuando se construyen expresamente para estas centrales, afectaría a la distribución de oxígeno y elementos nutritivos, lo que influiría en el zooplancton del área.

*El potencial energético del mar es muy grande*

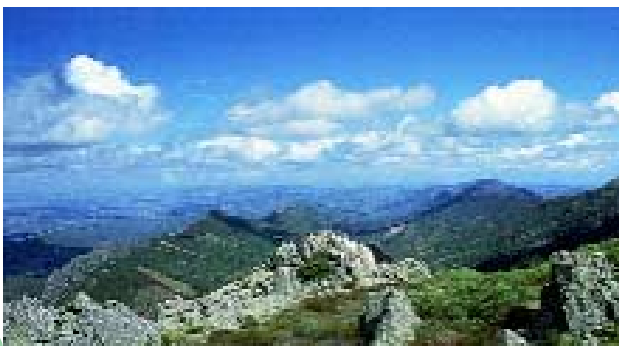


*La energía de las olas puede aprovecharse para la producción de electricidad*

El potencial energético de las olas podría suministrar una importante cantidad de electricidad. No obstante, no existe actualmente ningún sistema que sea capaz de transformar, con pérdidas razonables, la energía que transporta una ola - entre 25 y 40 kW/m de frente para una ola de 3 metros de altura - en electricidad.

Los sistemas de aprovechamiento de esta fuente de energía, en el caso de tener una potencia eléctrica significativa, podrían modificar el ecosistema local y sus dispositivos energéticos ins-

### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Las Villuercas (Cáceres)*



*Sierra Mágina (Jaén)*



*Torrón de Antequera (Málaga)*



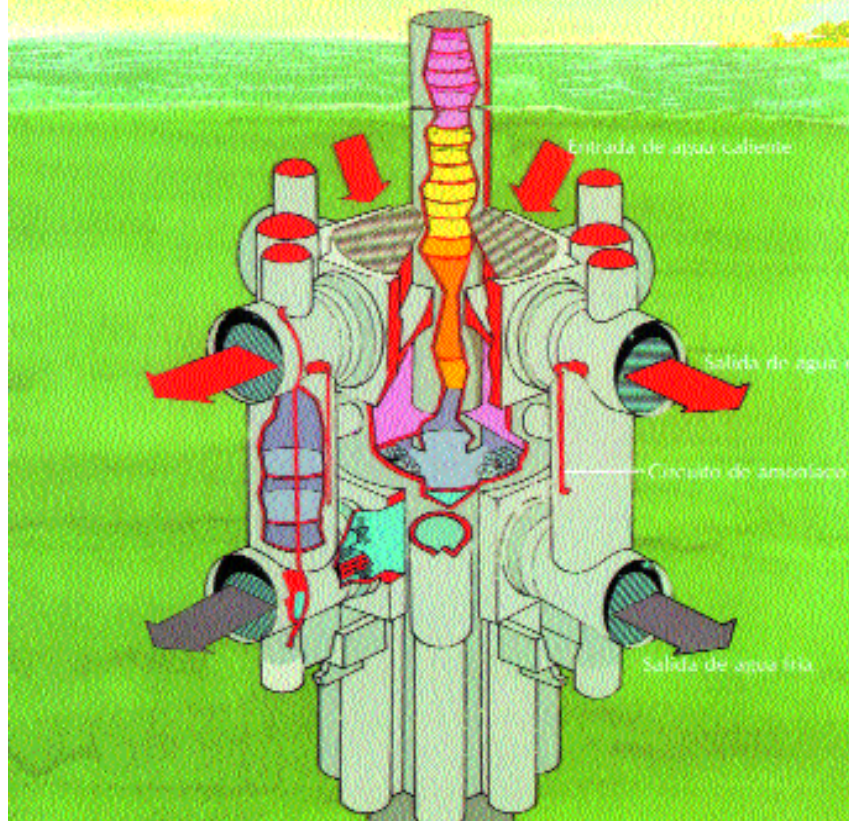
talados sobre el lecho marino y la franja o línea costera tendrían asimismo efectos en el entorno. La instalación representaría un nuevo hábitat para la fauna y la flora marinas. Y la adopción de medidas para controlar la formación de este nuevo hábitat podrían ser caras. Por otra parte, y a causa de la lejanía de los sistemas de aprovechamiento respecto de los puntos de demanda, la construcción de las líneas de transporte de energía eléctrica necesarias tendría también un impacto visual.

La diferencia de temperatura entre las capas superficiales y profundas en los mares se podría aprovechar para la generación de energía eléctrica. El principal problema de los dos sistemas alternativos que hoy existen es que tienen un bajo rendimiento –aproximadamente del 7%– y además es preciso realizar un elevado gasto de energía en el bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos. Además, el aprovechamiento de esta fuente de energía se enfrenta a problemas técnicos aún no resueltos totalmente, como los relacionados con la resistencia de los materiales en ambiente marino, la seguridad de las instalaciones, etc.

Por otro lado, han sido ya desarrollados procesos para convertir en electricidad la energía del gradiente salino resultante de las diferencias de presión osmótica existente entre aguas de diferentes salinidad, así como para diluir agua salina y producir agua dulce.

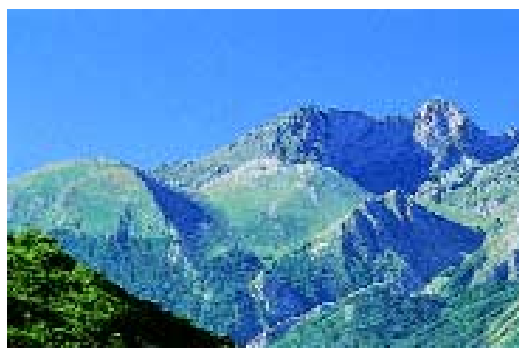
El impacto ambiental de las instalaciones de aprovechamiento energético por intercambio osmótico en membranas no es relevante salvo en el caso de los convertidores de energía situados en las proximidades de los estuarios. La salinidad en la boca del estuario se ve alterada bruscamente y, como los estuarios son focos primarios de vida marina, la alteración del gradiente de temperatura ha de ser asimismo considerada. Finalmente, la construcción de diques que impiden el intercambio migratorio entre océano y estuario de ciertas especies puede producir también efectos significativos.

En relación con la posible incidencia de estos dispositivos energéticos oceánicos en el balance térmico de las aguas, los estudios realizados indican que, para las estimaciones de producción del año 2020, el agua superficial de los océanos no perderá más de 1 Cº de temperatura, lo cual está dentro de los límites de variación naturales.



*Esquema de funcionamiento de un prototipo para aprovechar la energía térmica de los océanos*

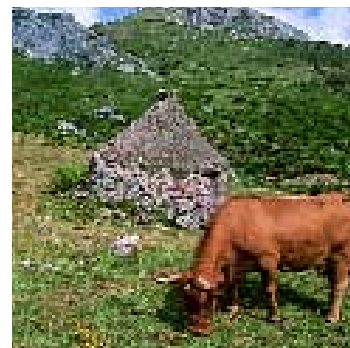
*Se han desarrollado proyectos para convertir en electricidad el gradiente salino*



*P. Natural de Somiedo (Asturias)*



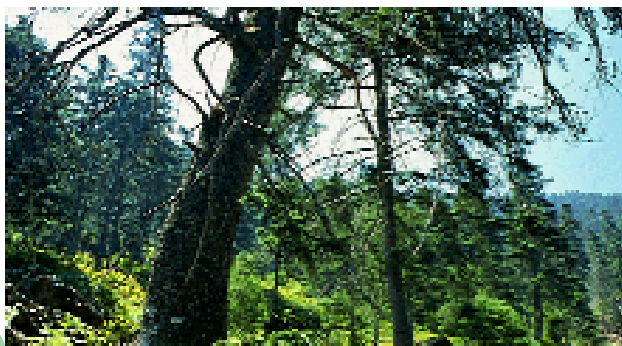
*Clavelinas*



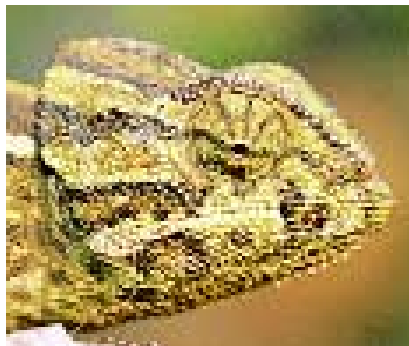
*P. Natural de Somiedo (Asturias)*

## Fauna y Flora Españolas

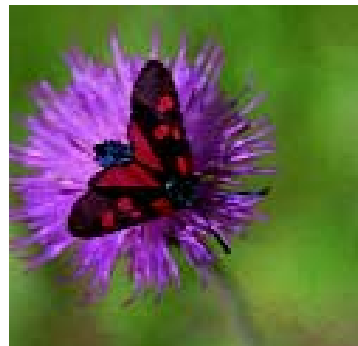
---



*Pinsapar de Sierra Bermeja (Málaga)*



*Camaleón*



*Mariposa zigena*



## **CAPÍTULO 7**

---

### **LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

---

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

### 1. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

Los residuos producidos por las empresas eléctricas convencionales son por un lado los residuos generados durante los procesos industriales de producción y mantenimiento y por otro los residuos generales asimilables a urbanos.

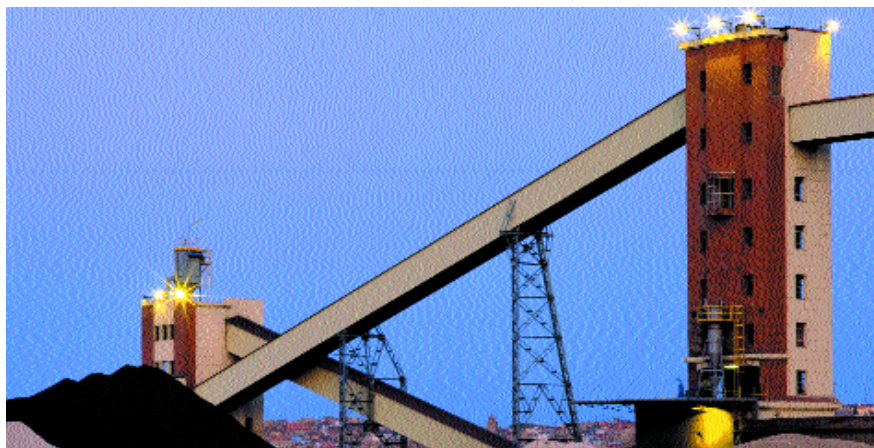
Los principales residuos industriales son las cenizas y escorias procedentes de centrales térmicas de carbón, aceites aislantes, aceites lubricantes, residuos con PCBs y conductores cubiertos, además de los típicos residuos resultantes del mantenimiento de los equipos netamente eléctricos o electrónicos. En menores cantidades, producen también disolventes, pinturas, resinas de intercambio iónico, lodos de depuradora, residuos de lavados de calderas y precalentadores de aire, y productos de laboratorio. Y de forma ocasional, pueden generar amianto, asbestos y ácidos de baterías durante obras de demolición o de modernización de las instalaciones

*Algunos residuos se comercializan, otros se incineran*

Algunos de estos residuos, como las cenizas, las escorias, los conductores cubiertos y los aceites, se comercializan, mientras que el destino del resto suele ser el vertedero o la incineración. Se observa además en este sentido una clara tendencia creciente a una mayor utilización de estos subproductos en la fabricación de materiales de construcción, empleo en carreteras, etc. Desde mediados de los años ochenta, la gestión de los residuos industriales ha comenzado además a quedar gradualmente englobada en el conjunto de la gestión medioambiental de las empresas eléctricas, en donde se aplican medidas acordes con las exigencias de las Comunidades Autónomas en las que están situadas sus instalaciones. Al mismo tiempo, los planes de formación de las empresas persiguen concienciar a los

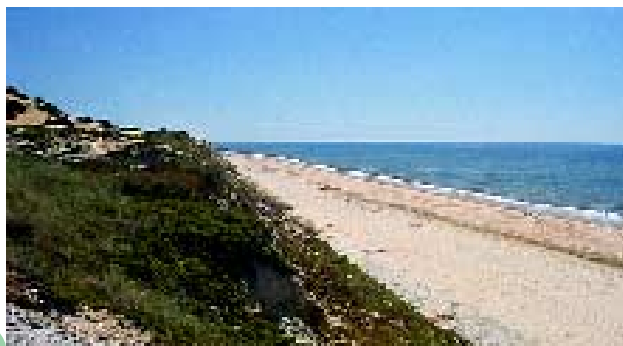
empleados de que su contribución al control y gestión de residuos en su puesto de trabajo es decisivo para mejorar los niveles ambientales en esta área. En algunos casos se ha establecido algún tipo de incentivos al respecto.

Esta internalización de la gestión de los residuos llega hasta el desarrollo de procedimientos internos y normas de ámbito general que en muchos casos se consensúan con las Administraciones respectivas, optimizándolos de acuerdo con la legislación vigente y las características de cada Comunidad Autónoma.



*La utilización del carbón como fuente de energía genera cenizas y escorias*

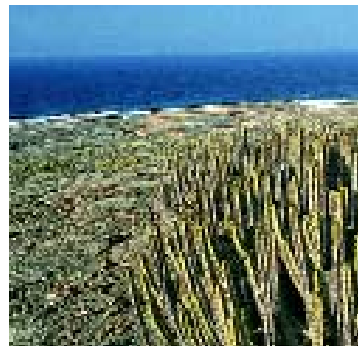
### Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Costa de Huelva*



*Península de Jandía (Fuerteventura)*



*Cardón (Fuerteventura)*

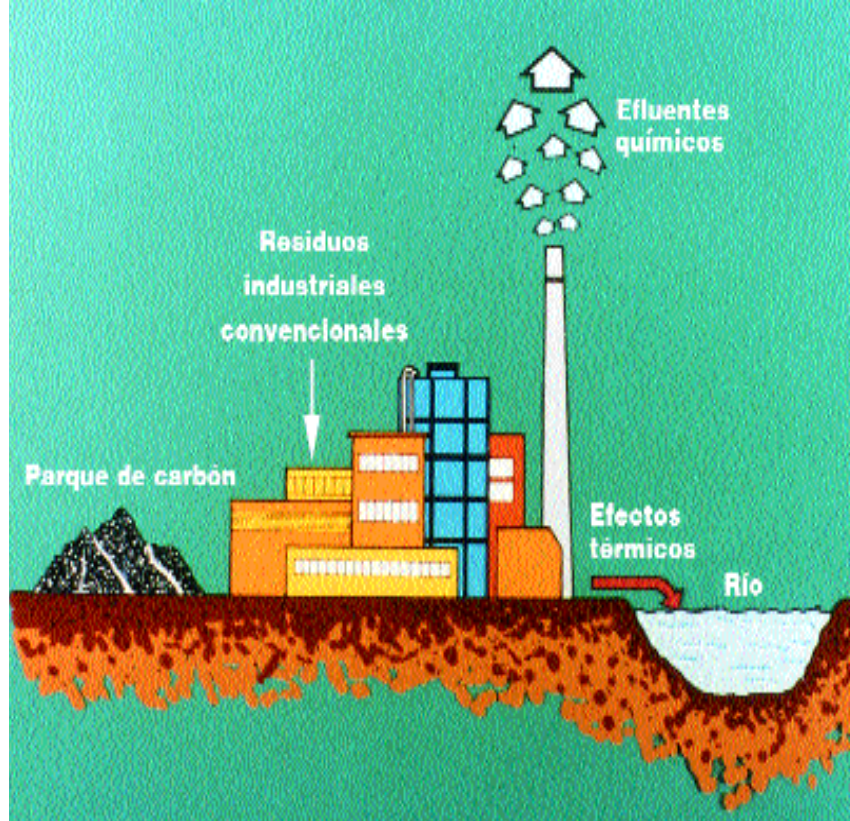


### 1.1. Los residuos industriales y la legislación

En los últimos años, la Unión Europea a partir del conocimiento detallado de los efectos que los residuos industriales provocan tanto en los ecosistemas naturales como en la cadena alimentaria del ser humano, ha legislado en forma de Directivas de transposición al ordenamiento jurídico de los estados miembros los residuos industriales de forma concatenada revisando la lista de elementos residuales de acuerdo con los conocimientos actualizados. Toda la legislación europea sobre residuos está basada en los siguientes principios:

- Jerarquía de la gestión de residuos: Las estrategias de gestión de residuos deben en primer lugar estar encaminadas a prevenir la generación de residuos y reducir su peligrosidad. Si esto no fuera posible, los residuos generados deberían ser reutilizados, reciclados o recuperados, o utilizados como fuente de energía. Como último recurso, deberían ser eliminados adecuadamente (por ejemplo, mediante incineración, o en vertederos).
- Autosuficiencia en la Comunidad, y si es posible, a nivel de Estado miembro: Los Estados miembros deben establecer, en cooperación con otros Estados miembros, una red integrada y adecuada para la eliminación de los residuos.
- Las mejores técnicas disponibles que no supongan un coste excesivo (Best Available Technique Not Entailing Excessive Cost o BATNEEC).
- Proximidad: Los residuos deben ser eliminados lo más cerca posible a la fuente.
- Responsabilidad del productor: Los sectores económicos implicados, y principalmente los fabricantes, deben estar implicados en el objetivo de cerrar el ciclo de vida de las sustancias, componentes y productos que intervienen en la producción, desde su vida útil hasta su eliminación como residuo.

Las principales Directivas europeas con relación a los residuos son la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos (modificada posteriormente por la Directiva del Consejo 91/156/CEE) y la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos (modificada posteriormente por la Directiva del Consejo 94/62/CE). Sin embargo existen numerosas Directivas que complementan este marco, como son la Directiva del Consejo relativa al vertido de residuos (1999/31/CEE), la Directiva del Consejo relativa a la elimi-



*Esquema del impacto medioambiental de una central térmica de carbón*

*Principales  
Directivas Europeas  
sobre residuos*



*Palmeras canarias (Fuerteventura)*



*Costa asturiana*



*Delfín mular*

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

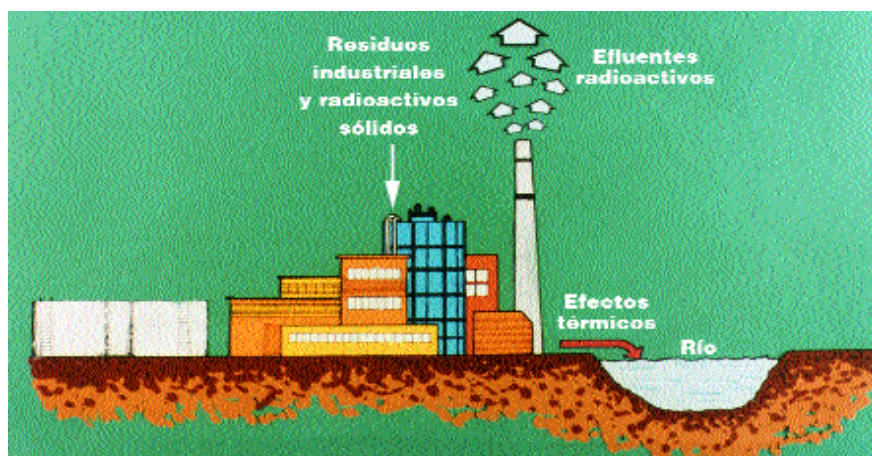
nación de los policlorobifenilos y de los policlorotrifenilos (PCB/PCT), la Directiva del Consejo relativa a la gestión de aceites usados (75/439/CEE, modificada posteriormente por la Directiva 87/101/CEE), Reglamento sobre el traslado de residuos (259/93), la Directiva del Consejo relativa a las pilas y acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas (91/157/CE, adaptada por la Directiva 91/157/CEE), la Directiva del Consejo sobre incineración de residuos peligrosos (94/67/CEE), la Directiva del Parlamento europeo y del Consejo relativa a la incineración de residuos, la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, etc.

En España, el marco jurídico de los residuos está establecido por la Ley 10/1998 de Residuos, que recoge el criterio universalista de la Directiva europea 91/156/CEE, mediante la prevención de la producción, el establecimiento del régimen jurídico de su producción y gestión y el fomento de su reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas, regulando asimismo los suelos contaminados. Esta ley deja fuera de su aplicación los residuos radiactivos, las emisiones a la atmósfera y los vertidos. También es de gran importancia el Real Decreto 952/1997 por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986 Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988. En el sector eléctrico y de acuerdo con esta Ley, la prevención de generación de los residuos es el principal criterio a seguir; en los casos en que esta producción no puede evitarse, se fomenta la reducción, y las diferentes formas de valorización, así como una correcta gestión de los mismos según la legislación vigente.

Complementando esta legislación nacional sobre residuos se encuentran entre otros, el Real Decreto 1378/1999 por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de PCB, PCT y aparatos que lo contengan (que transpone la Directiva 96/59/CEE); la Orden

de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la gestión de aceites usados (modificada por Orden de 13 de junio de 1990 y que transpone las Directivas comunitarias 75/439/CEE, de 16 de junio de 1976 y su modificación por Directiva 87/101/CEE, de 22 de diciembre de 1986); el Real Decreto 45/1996, por el que se regulan diversos aspectos relacionados con las pilas y los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas (que transpone la Directiva del Consejo 91/157/CEE); el Real Decreto 1217/1997 sobre incineración de residuos peligrosos y de modificación del Real Decreto 1088/92, de 11 de septiembre, relativo a las instalaciones de

*En 1998 se establece el marco jurídico español sobre los residuos*



*Esquema del impacto medioambiental de una central nuclear*

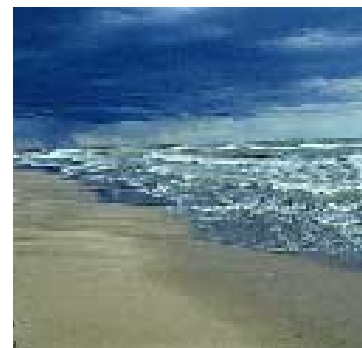
### Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Ría de Villaviciosa (Asturias)*



*P. Natural de Barbate (Cádiz)*



*Playas del Delta del Ebro*

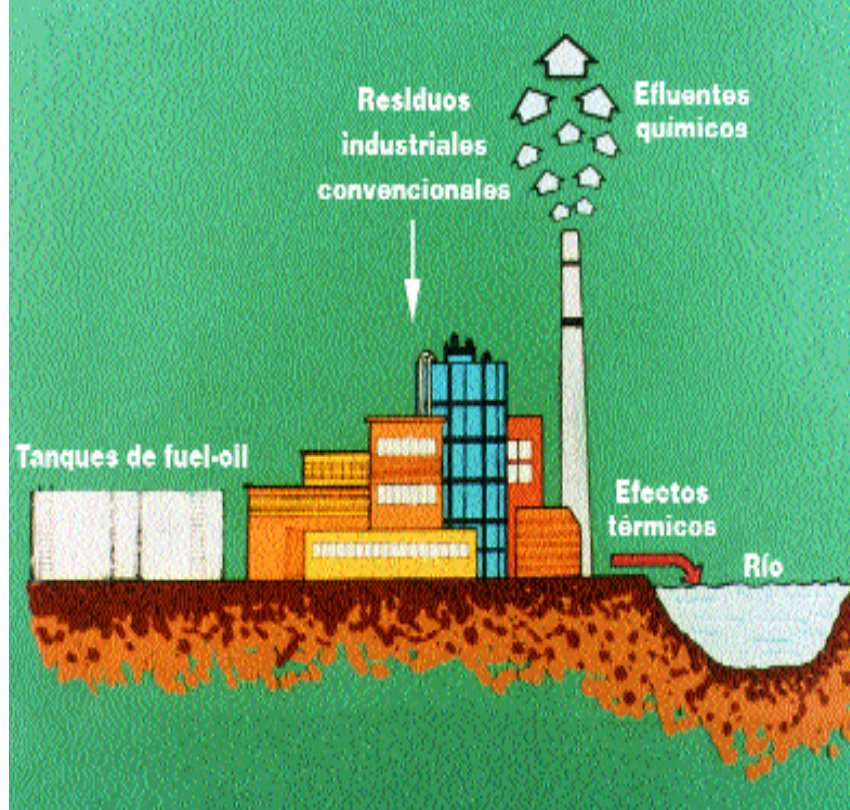


incineración de residuos municipales (que transpone la Directiva 94/67/CEE y modifica el Real Decreto 1088/1992, de 11 de septiembre); la Resolución de 17 de noviembre de 1998 de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se publica el Catálogo Europeo de Residuos (CER) aprobado mediante la Decisión 94/3/CEE de la Comisión, etc.

Actualmente existen a nivel estatal varios Planes nacionales sobre residuos, tanto vigentes (Plan Nacional de Residuos Peligrosos 1995-2000 y Plan Nacional de Residuos Urbanos 2000-2006), como en fase de borrador (Plan Nacional de residuos voluminosos, Plan Nacional de residuos de construcción y demolición, Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales, etc.). Es previsible que en un futuro próximo aparezca nueva legislación y planes específicos para los residuos industriales, así como que se realice la transposición de las nuevas Directivas europeas a la legislación española.

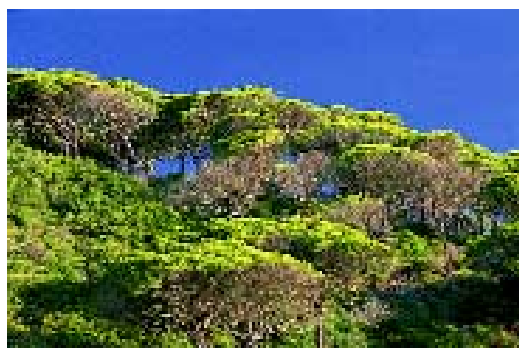
Es de especial interés destacar que en nuestro país, existe un reparto competencial entre las diferentes Administraciones, correspondiendo a la Administración del Estado la elaboración de los planes nacionales de residuos, la autorización, inspección y régimen sancionador de los traslados desde o hacia terceros países (sin perjuicio de la colaboración que puedan prestar las Comunidades Autónomas), y la vigilancia y control de los residuos en el interior, a la entrada y a la salida de la Comunidad europea, cuando España sea país de tránsito. Este factor es de especial importancia, ya que sería necesario que hubiera una armonización en la nueva legislación que aparecerá en materia de residuos en las diferentes administraciones, y que podría afectar a distintos aspectos derivados de su gestión (traslado de cenizas volantes entre diferentes Comunidades autónomas, etc.).

Las Comunidades Autónomas, cobran mayor importancia desde el establecimiento de la Ley 10/98, ya que a ellas les corresponde la elaboración de los planes autonómicos de la gestión de residuos, la autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de los residuos, así como la autorización del traslado de residuos desde o hacia países de la Unión europea en el marco del Reglamento CEE 259/93 y la de traslado en el interior del territorio del Estado, así como la de la inspección y en su caso, sanción. Actualmente existen varias Comunidades Autónomas que han elaborado sus planes autonómicos en materia de residuos, mientras que otras lo harán en el futuro, resultando de interés resaltar la necesidad de que los futuros planes y legislaciones se encuentren armonizados entre todas las



*Esquema del impacto medioambiental de una central térmica de fuel-oil*

*En España existe un reparto competencial entre las Administraciones Públicas*



*Pinar de Barbate (Cádiz)*



*Cabo Trafalgar (Cádiz)*



*Playas en Guardamar de Segura (Alicante)*

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

Comunidades Autónomas. Las entidades locales también han cobrado importancia en materia de gestión de residuos, en especial en lo que se refiere a los residuos sólidos urbanos.

### 1. 2. Los residuos industriales y su gestión

#### 1.2.1. Cenizas y escorias

Las centrales termoeléctricas de carbón producen grandes cantidades de cenizas y escorias; sin embargo es necesario destacar que parte de estos subproductos se comercializa para múltiples aplicaciones. Actualmente, la comercialización de estos subproductos se está incrementando tanto a nivel europeo (existiendo países que incluso importan estos subproductos) como en nuestro país. Se describen a continuación algunas de las aplicaciones:

- Incorporación de las cenizas volantes al cemento. Entre las aplicaciones que tienen las cenizas volantes, destaca la importancia de su uso como aditivo al cemento portland.
- Incorporación de las cenizas volantes en morteros para su uso directo en las obras para formar argamasas que se utilizan como relleno, confiriendo las cenizas volantes frente a los morteros de cal, una mayor resistencia al mortero endurecido.
- Incorporación de las cenizas volantes para hormigón, que puede ser utilizado para fabricación de hormigón en masa (presas) o para prefabricados, entre los que se encuentran:

Bloques de hormigón: se trata de un sustitutivo del ladrillo tradicional, de gran interés en la construcción.

Bloques de hormigón con aire ocluido: se trata de bloques que se preparan introduciendo burbujas de aire u otro gas, y cuyo destino principal es la construcción.

Tubos de hormigón para su utilización en tuberías, etc.

- Bloques rompeolas, aumentando las cenizas la durabilidad frente al ataque por agua de mar.

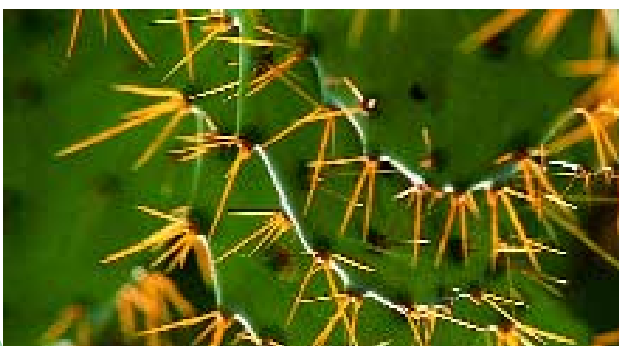
- Estabilización de suelos, es decir, el acondicionamiento de un terreno para usos posteriores concretos, entre los que se encuentran la construcción de

*Las Comunidades Autónomas tienen su propia legislación sobre residuos industriales*



*Los residuos de la industria eléctrica se transportan en vehículos especiales*

### Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Chumera*



*P. Regional de Calblanque (Murcia)*



*P. Regional de Calblanque (Murcia)*



caminos rurales y carreteras; se consolidan así terrenos (arenosos o arcillosos) mediante su mezcla con compuestos (como cal o cemento) que poseen la propiedad de endurecer o solidificar en presencia de humedad.

- La construcción de carreteras es otra utilidad de las cenizas volantes, que cada día tiene mayor aplicación, extendiéndose su empleo no sólo a la preparación de la base y sub-base de las mismas, sino también a la construcción de terraplenes, rellenos y firmes.

Existe un gran número de obras realizadas tanto en España, como en otros países en los que se han utilizado estos productos, siendo de interés señalar su utilización en construcción de presas, construcción de edificios (así por ejemplo, la Torre Picasso de Madrid, de 171 m de altura está construida con hormigón con adición de cenizas volantes), túneles, silos, restauración y rehabilitación de edificios, etc.

El resto de las cenizas y escorias que no es comercializado se vierte en escombreras ubicadas junto a dichas centrales, cuya adaptación como vertedero de residuos industriales obliga a realizar una serie de modificaciones, como es la adecuación de la red de drenajes, el tratamiento y control de lixiviados, y el estudio de la permeabilidad del terreno.

Existen dos Directivas comunitarias sobre residuos industriales -91/156/CEE y 91/689/CEE –que hacen referencia a las cenizas y escorias procedentes de centrales térmicas y a los residuos de procesos de descontaminación. Debe señalarse también que residuos tales como las escorias y cenizas volantes generadas en las centrales térmicas de carbón así como el yeso proveniente de la desulfuración de gases han quedado excluidos de la lista europea de residuos peligrosos, aprobada en diciembre de 1994 (Decisión del Consejo 94/904/CE por la que se establece una lista de residuos peligrosos).

Asimismo, en cuanto a la legislación nacional, las cenizas y escorias han quedado también excluidas de la lista de residuos tóxicos y peligrosos (Real Decreto 952/97, que modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/86 de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/88 de 20 de julio).

En cuanto a la legislación existente en las Comunidades Autónomas, están catalogadas como residuos no peligrosos (en Cataluña, según el Decreto 92/1999 de modificación del decreto 34/1996 de 9 de enero, se clasifican los polvos y cenizas volantes de carbón como residuos inertes (código 100106); en Galicia según el Decreto 154/98 se cataloga a las

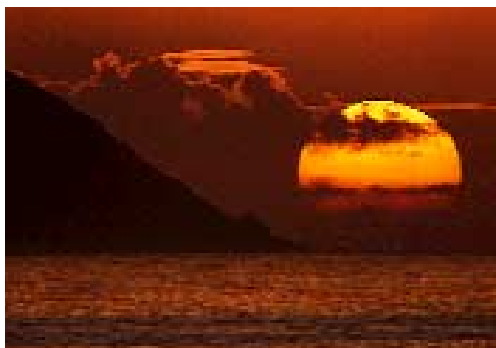


*Presa construida con hormigón en el que se han utilizado cenizas volantes para su fabricación*

*Las cenizas y escorias son aprovechadas en numerosas obras: caminos rurales, carreteras, construcción de edificios, embalses...*



*Flor en una roca*



*P. Natural de las Islas Cíes (Pontevedra)*



*P. Natural de las Islas Cíes (Pontevedra)*

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

cenizas volantes de carbón como residuo no peligroso (código 100102) y en el País Vasco según el decreto 423/94 se clasifica las cenizas volantes como residuos industriales inertes).

Es necesario señalar la polémica existente en diferentes sectores industriales sobre el término de residuo y subproducto. De acuerdo con el artículo 3.a. de la Ley 10/1998 de Residuos, se entiende por residuo cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. Por tanto, y en el caso de que las cenizas volantes o escorias sean comercializadas, no deberían estar consideradas por la legislación como un residuo sino como un subproducto, al utilizarse en este caso en realidad como materia prima para diversas aplicaciones. Esta cuestión debería ser tenida en cuenta por las diferentes Administraciones, ya que de esta manera se favorecería su valorización y por tanto la minimización de los residuos (de acuerdo con el artículo 1 de la ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, se deberá fomentar la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los residuos).

*Existe distintos criterios sobre la diferenciación de residuos y subproductos*

### 1.2.2 Aceites

Están comprendidos los aceites minerales aislantes, los aceites minerales lubricantes y los aceites de tipo sintético. Estos compuestos están considerados como tóxicos y peligrosos debido a los aditivos que contienen; también se incluyen como tal los trapos y botes contaminados por este tipo de sustancias. Entre los compuestos que constituyen los aditivos se encuentran bario, cromo, zinc, plomo, además de compuestos clorados, sulfurados y nitrogenados. Estos aceites se utilizan tanto en turbinas como en bombas y son recogidos por gestores autorizados.

### 1.2.3. Residuos con PCB's



*Instalaciones de tratamiento de residuos de la central termoeléctrica de Foix*

La utilización creciente de estos compuestos se produjo a raíz de la promulgación del Real Decreto 1387/82 que desarrollaba la Norma Básica de Edificación NBE-CPI-81, en el que se recomendaba usar estos aislantes en aquellas instalaciones donde no existieran sistemas contra incendios.

Posteriormente, la Orden Ministerial de 14 de marzo de 1989 prohibió la instalación de equipos que contengan PCBs y PCTs. Desde entonces, y dado que no existía en España ninguna instalación

## Fauna y Flora Españolas *Islas y costas*



*Gaviota patiamarilla*



*P.Natural Marro-Cerro Gordo (Granada)*



*P. Natural de Barbate (Cádiz)*



autorizada para la incineración de estos residuos, el sector eléctrico los almacenaba en lugares debidamente acondicionados o los enviaba a otros países para su incineración.

A partir del Real Decreto de 27 de Agosto de 1999, transposición de la Directiva 96/59/CE, que establece medidas de eliminación y gestión de PCBs y PCTs y aparatos que los contengan, el sector eléctrico conjuntamente con el Ministerio de Medio Ambiente y las Comunidades Autónomas están elaborando un plan para cumplir con la eliminación de estos residuos, catalogados como peligrosos, en el periodo comprendido entre el año 2000 y el 2010. A tal efecto se contará en la medida de lo posible con la instalación española de eliminación de estos residuos de Constanti (Cataluña).



*Investigación sobre los efectos de los residuos de las centrales eléctricas en suelos y vegetales*

#### **1.2.4. Conductores cubiertos**

Tradicionalmente, los conductores cubiertos eran comercializados como chatarra. Actualmente, se entregan a empresas especializadas que eliminan la cubierta por medios mecánicos y aprovechan las partes metálicas. En algunas Comunidades Autónomas están gestionados como residuo especial, debido a los problemas indirectos que ocasiona su combustión incontrolada.

A partir de la aprobación de las propuestas de la UE relativas a residuos eléctricos y electrónicos es previsible se planteen nuevas soluciones para elementos que en la actualidad no están contemplados como residuos específicos a gestionar.

#### **1.2.5. Otros residuos industriales**

Por lo que se refiere a los demás residuos, se producen en cantidades mucho menores que los anteriores y se gestionan según la legislación aplicable en cada caso. Cabe destacar los residuos de ácidos o álcalis, utilizados en baterías, que se gestionan en plantas de tratamiento físico-químico.

#### **1.2.6. Residuos asimilables a residuos urbanos**

Los residuos asimilables a residuos urbanos son aquellos que no son específicos del sector de la energía, sino que son los mismos que se generan en otras actividades; estos residuos se gestionan en primer lugar de forma que su producción se reduzca al mínimo, y en

*La normativa española sobre los residuos industriales se va actualizando de forma acorde con sus necesidades*



*Gaviota patiamarilla*



*Flora en Barbate(Cádiz)*



*Salamanquesa*

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

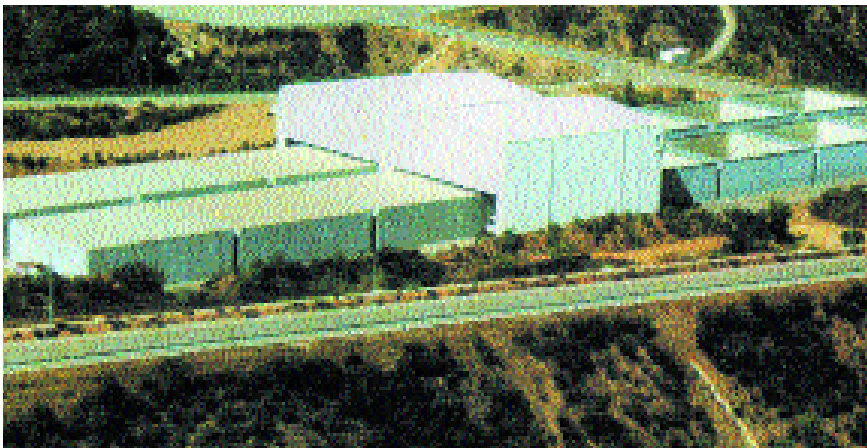
segundo lugar, de manera que puedan reciclarse al máximo a través de los gestores competentes. Los residuos asimilables a urbanos más característicos son:

- Cartones: Su procedencia son los embalajes de todo tipo (almacenes, oficinas, etc.) y su destino final debe ser recogida para su reciclado.
- Papel: generado sobre todo en las oficinas; se debe recoger y gestionar para su reciclado.
- Madera: Procede de los embalajes, palés; debe ser almacenada en contenedores asimilables a urbanos hasta su recogida por los servicios municipales.
- Plásticos: Su origen se encuentra en los embalajes de las distintas dependencias de las instalaciones, debiendo ser almacenados en contenedores hasta su recogida por los servicios municipales.
- Otros residuos, tales como residuos orgánicos procedentes del servicio de comedor, etc.

*El sector eléctrico aplica una gestión interna y adecuada para los residuos producidos en sus instalaciones*

### 2. PERSPECTIVAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES.

Es previsible que en un futuro próximo exista un tejido industrial medioambiental que potencie el tratamiento de este tipo de residuos, mediante vertederos para residuos industriales, plantas incineradoras y de tratamiento fisicoquímico que permitan dar una salida adecuada, y a costes competitivos, a residuos que a finales del año 1999 no están expresamente legislados.

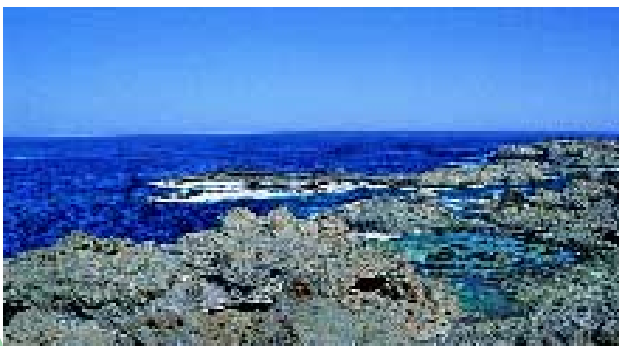


*Las sociedades eléctricas dedican equipos de expertos para buscar soluciones a todos y cada uno de los residuos generados*

Mientras tanto, las empresas eléctricas han de ir utilizando las vías establecidas por las distintas Administraciones, almacenando inicialmente los residuos en zonas especialmente habilitadas, para después darles el tratamiento adecuado en instalaciones españolas o, en caso necesario, en plantas situadas en los demás países comunitarios.

La tendencia general, ya puesta en práctica por diversas compañías eléctricas, es internalizar en la empresa la gestión integral de los residuos industriales, es decir, diseñar y aplicar un procedimiento de gestión para todos y cada uno de los residuos producidos en sus instalaciones. Básicamente, este

## Fauna y Flora Españolas Islas y costas



*Isla de Aegreanza (Lanzarote)*



*Estrecho de Gibraltár (Cádiz)*



*P. Natural de Oyambre (Cantabria)*



procedimiento tiene las siguientes características:

- Existencia de lugares de almacenamiento adecuados en las instalaciones que lo permitan (centrales térmicas, grandes subestaciones, centrales hidráulicas, almacenes, etc.). En ellos se deposita el residuo debidamente etiquetado y en contenedores adecuados.

- Cada centro importante obtiene la declaración de centro productor de residuos por la Administración competente; se identifica su responsable y se le asigna un código.

- Los centros pequeños, sin personal, automatizados o dispersos se agrupan en zonas o divisiones. A cada una de ellas se le asigna un código de centro productor de residuos y se nombra su responsable.

- Los residuos producidos en intervenciones en centros pequeños se trasladan al almacén regulador más próximo en espera de su gestión.

A su vez, el procedimiento de recogida y eliminación funciona de la siguiente manera:

- Cuando existe una cantidad que justifique una recogida en una o varias zonas o divisiones, los responsables de residuos cursan una orden de compra a los servicios de aprovisionamiento.

- El servicio de aprovisionamiento contrata a la empresa tratadora de residuos, que rellenan las "fichas de identificación del residuo" conjuntamente con los responsables de residuos.

- La empresa tratadora de residuos contrata al transportista y llena la hoja de seguimiento de residuos que éste presenta al responsable de residuos de la empresa eléctrica antes de proceder a su retirada.

- Se inicia la recogida itinerante de residuos. Cada responsable de instalación solicita al transportista una copia de la hoja de seguimiento del residuo.

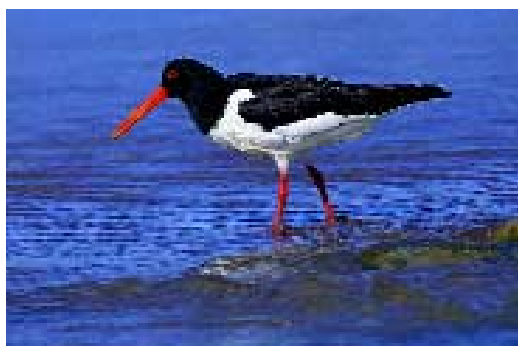
- Con las hojas de seguimiento se rellena el libro registro, para después efectuar anualmente una declaración en cada centro productor.

- En caso de traslados intercomunidades o transfronterizos, la empresa tratadora rellena conjuntamente con el responsable de residuos la documentación correspondiente.



*UNESA, siempre preocupada por el medioambiente, esta presente en los foros internacionales más importantes que abordan el tema*

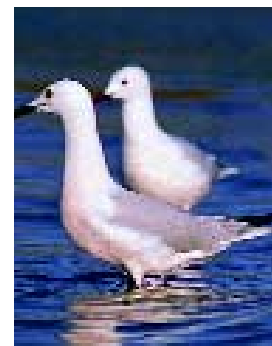
*Existen  
procedimientos  
estandarizados de  
gestión de residuos  
en el sector  
eléctrico*



*Ostrero*



*Bahía de Santoña (Cantabria)*



*Gaviotas picofinas*

## 7. LOS RESIDUOS INDUSTRIALES Y EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR ELÉCTRICO

---

- Se mantiene una contabilidad específica para los residuos industriales. Estos procedimientos de gestión deben estar consensuados con las Administraciones respectivas, ya que implica dar de alta y codificar cada centro productor en el organismo autónomo correspondiente. Este sistema integrado permite una mayor eficacia en la gestión y un ahorro de recursos humanos y económicos.

### 3. LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN EL SECTOR ELÉCTRICO.

La mayor parte de los proyectos de investigación que ha llevado a cabo el sector eléctrico en este campo se centra en la reutilización de las cenizas volantes a través de su caracterización y su uso en firmes de carreteras, en la fabricación de productos cerámicos y en conglomerantes hidráulicos.

Otra línea de investigación estudia las posibilidades de la eliminación de residuos, utilizando las cenizas volantes como producto inertizante o mediante determinadas tecnologías de eliminación, como es el caso del plasma. En este último caso, se podría conseguir tanto una eliminación de una parte de los residuos tóxicos, como la recuperación de metales contenidos en ellos.

La incineración de aceites residuales procedentes de talleres e industrias en las instalaciones de combustión también han sido objeto de investigación. Y se han estudiado asimismo las características de los lixiviados de las cenizas y escorias procedentes de centrales térmicas, así como sistemas y técnicas para la recuperación de las escombreras.

Finalmente, otras líneas de investigación en fase de desarrollo abordan la identificación de PCBs en residuos o la utilización de cenizas y lodos de lavado de carbón como soporte para nutrientes.

*Sistemas integrados de gestión permiten una mayor eficacia y ahorro en recursos humanos y económicos*

## Fauna y Flora Españolas

---



*Dunas en Doñana*



*La Manga del Mar Menor (Murcia)*



*La Graciosa (Lanzarote)*



## CAPÍTULO 6

---

# EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

---

## 6. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

### 1. LAS INSTALACIONES DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN.

Las actividades que se engloban bajo la denominación general de transporte y distribución tienen por finalidad la transmisión, transformación y reparto de la energía eléctrica desde los centros de producción hasta los de consumo final. Las instalaciones que las realizan son las líneas de transporte y distribución, las subestaciones, las redes de distribución y los centros de transformación.

Estas instalaciones tienen, en términos relativos, una incidencia medioambiental mucho menor que las de producción, ya que ni realizan transformaciones físico-químicas de ningún tipo, ni consumen recursos naturales –a excepción del terreno que ocupan–, ni producen residuos de manera continua.

*La electricidad producida en las Centrales hay que transformarla, transportarla y hacerla llegar a los centros de consumo*

En contrapartida, y por la proximidad de algunas de ellas –sobre todo, las de distribución– a personas y bienes, han de ser tenidos en cuenta determinados efectos derivados de las mismas, como los ruidos o el impacto visual. Además, la construcción de estas instalaciones puede generar consecuencias medioambientales.

A lo largo de la última década, el sector eléctrico español ha intensificado su atención sobre los aspectos medioambientales del transporte y la distribución de electricidad, como lo demuestra el número creciente de estudios de impacto ambiental que ha llevado a cabo –a pesar de que la legislación no los exigía para estas instalaciones– y de proyectos de investigación realizados sobre este tema, estudios y actuaciones que han servido para que el conocimiento adquirido forme parte de la legislación actual y futura.

### 2. LINEAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN.

#### 2.1. Efectos medioambientales

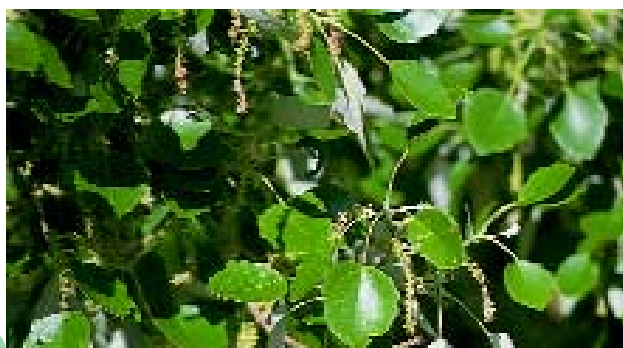
Los efectos de las líneas eléctricas sobre el medio ambiente pueden darse tanto en la fase de construcción, como en la de explotación. El alcance de estos efectos depende en gran medida del trazado de la línea, por lo que la planificación y la selección de alternativas son fundamentales.

Los efectos medioambientales en la fase de instalación afectan fundamentalmente al suelo, a la vegetación y a la fauna que habita en la zona. Nor-



*Subestación transformadora de la central hidroeléctrica Llavorsi Cardós*

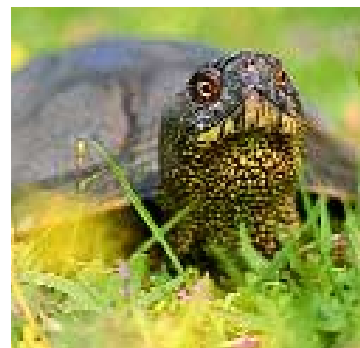
#### Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Hojas del álamo*



*Mejillón de río*



*Galápagos europeo*



malmente, para la construcción de una línea es imprescindible la apertura de pistas que permitan el acceso de vehículos, la cimentación y montaje de los apoyos y el tendido de los conductores. El movimiento del terreno también puede originar impactos puntuales sobre las aguas y la atmósfera. Sin embargo, estos efectos suelen ser de pequeña magnitud, puesto que se circunscriben a alteraciones superficiales en las zonas de levantamiento de los postes.

El tendido de los cables puede ocasionar daños a la vegetación cuando se realiza el tensado si previamente no se ha abierto una calle bajo la línea. Cuando la línea atraviesa zonas boscosas, es necesario abrir una calle de seguridad bajo la misma. De ella hay que eliminar la vegetación arbórea por razones de seguridad, puesto que es necesario que haya una distancia mínima entre el conductor y la copa de los árboles.

El impacto medioambiental de las líneas en la fase de explotación se debe a los apoyos y a los cables, tanto los conductores como, en caso de que existan, los cables de tierra.

Por lo que se refiere a los apoyos, pueden tener un efecto ambiental positivo sobre la avifauna, ya que con frecuencia son utilizados por las aves como oteaderos o como lugares para la nidificación o el reposo. Sin embargo, a veces suponen una limitación para la explotación forestal y agrícola del terreno y pueden tener un efecto negativo sobre el paisaje que es lógicamente más importante en zonas de alto valor histórico o cultural.

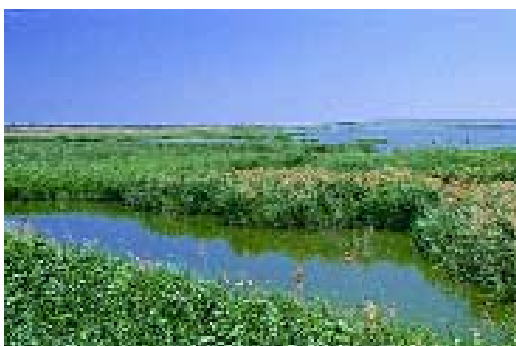
En cuanto a los conductores, el principal impacto se produce sobre la avifauna por electrocución o por colisión. La electrocución tiene lugar cuando aves de gran tamaño contactan simultáneamente con dos conductores o cuando se posan en una torreta metálica y rozan alguno de los conductores, pues se produce entonces una derivación a tierra a través del cuerpo del animal. El riesgo es más acusado en las líneas de distribución que en las de transporte, ya que en las primeras los conductores se encuentran más cercanos entre sí y más próximos también a las crucetas. El diseño de estas últimas influye decisivamente en el nivel de riesgo. Así, los aisladores rígidos y los puentes superiores no aislados suponen un elevado índice de riesgo, mientras que las cadenas de aisladores suspendidos suelen ser más seguras.

Por su parte, la colisión ocurre fundamentalmente en los cables de tierra de las líneas de alta tensión que, por su pequeña sección en relación con la de los conductores, son menos visibles para las aves. Resultan más peligrosos en momentos de menor visibilidad, como el ama-

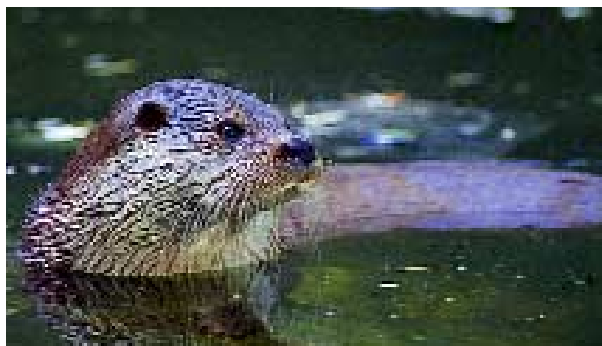


*La energía eléctrica producida se transporta a los centros de consumo*

*El tendido eléctrico puede afectar a la flora y a la fauna de su entorno*



*Embalse de El Hondo (Alicante)*



*Nutria*



*Río Tormes (Ávila)*

## 6. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

necer y el atardecer –en los que muchas aves realizan sus tránsitos entre zonas de reposo y alimentación–, en días de niebla y en las zonas de humedales sobre las cuales vuelan las aves formando grandes concentraciones. Los casos de colisión son menos numerosos que los de electrocución y se producen más en las líneas de transporte que en las de distribución.

Finalmente, los conductores pueden tener otros impactos medioambientales de menor relevancia. Así, afectan a la vegetación cuando es necesaria la apertura de una calle de seguridad, lo que supone talas periódicas de mantenimiento y puede constituir una barrera para determinadas especies animales. Como aspecto positivo, cabe subrayar que, en determinados casos, la calle puede convertirse en cortafuegos. Otro efecto de los conductores es el ruido que pueden producir al paso de la corriente en las líneas de alta tensión; sin embargo, en condiciones normales apenas es perceptible y sólo se incrementa en casos de niebla o lluvia.

*El sector eléctrico está constantemente aplicando medidas para minimizar el impacto ambiental del transporte eléctrico*

### 2.2. Medidas correctoras

Entre las medidas que el sector eléctrico está aplicando para disminuir los efectos anteriormente descritos, destacan las que se señalan a continuación.

- **Normativas internas de las empresas eléctricas para minimizar el impacto ambiental de la construcción de líneas de alta tensión.**- Incluyen recomendaciones referentes al diseño, construcción y mantenimiento de la línea, como son:

- Adecuación de los apoyos al terreno para evitar zanjas, grandes cortes, etc.
- Utilización de maquinaria adecuada y restauración posterior de los terrenos afectados por el montaje de la línea.



*El mantenimiento de las redes exige un gran esfuerzo técnico y humano*

- Estudio de las calles para su posterior uso como cortafuegos o como itinerarios turísticos o didácticos en áreas de valor natural.

- Adopción de medidas que eviten el arrastre de materiales sueltos a cursos de aguas superficiales durante los movimientos de tierras.

- Adopción del momento elegido para la obra a las épocas de celo, nidificación o cría de las especies de la zona, especialmente en zonas protegidas, minimizando el ruido.

### Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Frutos del aliso*



*P. Regional del Río Guadarrama (Madrid)*



*Pato colorado*



- Tala de árboles mediante motosierra, evitando maquinaria pesada, para reducir el impacto sobre la cubierta edáfica.

- Ajuste del cálculo de la zona de seguridad que requiere la línea, evitando excesos que provoquen talas innecesarias.

- Retirada de los elementos sobrantes de la construcción.

- Utilización de técnicas especiales de tendido de cable, como aeromodelismo o disparo, para disminuir los arrastres por el suelo en los tramos en los que la biocenosis tenga una especial significación.

- Búsqueda de los trazados más adecuados para reducir el impacto de la línea sobre el paisaje, previniendo el posible uso de pantallas naturales de ocultación y de los pasillos existentes creados por otras líneas u obras de infraestructura.

- **Técnicas de "tala selectiva".**- Se basan en el estudio y clasificación previos de la vegetación arbórea existente en la zona para evitar así el desmantelamiento integral del pasillo de seguridad que ha de abrirse bajo la línea, dejando intacto el mayor número posible de ejemplares de aquellas especies vegetales que, debido a su altura máxima de crecimiento, nunca constituirían un problema para la seguridad de la línea.

- **Nuevos diseños estéticos de apoyos.**- Cuando las técnicas de ocultación no son aplicables, se puede optar por diseñar el apoyo de forma que, lejos de pasar desapercibido, constituya un elemento atractivo más del paisaje.

- **Protección de la avifauna.**- Se están adoptando medidas correctoras en lugares que son especialmente sensibles por el elevado valor de las especies de aves que habitan en ellos estacional o permanentemente. Generalmente, se trata de actuaciones en espacios protegidos con el fin de preservar especies en peligro de extinción. Cabe destacar las siguientes:

- Enterramiento de líneas de distribución a su paso por zonas de elevado valor natural.

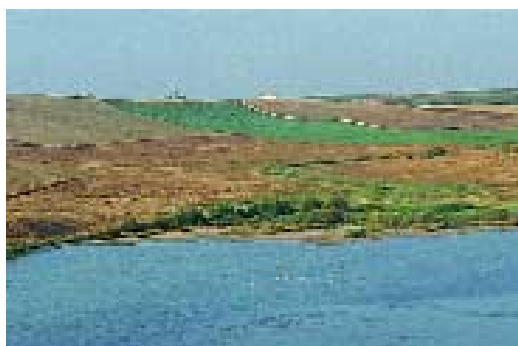
- Aislamiento de tramos de conductores a ambos lados de los apoyos para eliminar los riesgos de electrocución.

- Instalación de dispositivos disuasorios separadores entre conductores y crucetas, evitando la posada del ave en puntos peligrosos.



*Para el mantenimiento de las grandes redes de transporte se utilizan helicópteros que mejoran la eficiencia y el impacto ambiental de estas instalaciones*

*Acciones especiales para la protección de especies sensibles*



*Laguna del Tiscar (Córdoba)*



*Caballito del diablo*



*Marismas del Odiel (Huelva)*

## 6. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

- Modificación de los postes y crucetas para disminuir su peligrosidad.
- Señalización de vanos de conductores para mejorar su visualización por parte de las aves y evitar así colisiones.

**- Inclusión de las líneas eléctricas en los nuevos sistemas de gestión medioambiental.**- Las empresas eléctricas están implantando nuevos sistemas de gestión medioambiental basados en la evaluación y auditoría medioambiental de todos sus centros. Las líneas eléctricas han sido incluidas entre las instalaciones que se han de auditar.

**- Desarrollo de Norma para proteger la avifauna.**- Por iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente español y con la participación de las Comunidades Autónomas y de las empresas del sector eléctrico y UNESA, se ha desarrollado una Norma base de prescripciones técnicas a tener en cuenta en la protección de la avifauna, donde se han utilizado los conocimientos de los proyectos de investigación realizados por el sector eléctrico en esta materia, así como los datos estadísticos de accidentes por colisión y electrocución comprobados por los diferentes participantes para definir los elementos a tener en cuenta para minorar la casuística de dichos accidentes. Dicha Norma básica del Estado está prevista que sea operativa en el año 2001 e incidirá en las nuevas instalaciones, así como en instalaciones existentes en Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAS), zonas de alto riesgo definidas por las Comunidades Autónomas y en general en zonas donde se compruebe la posibilidad de accidentes, acometiendo un plan de actuación sobre las mismas que abarcará el periodo comprendido entre el año 2001 y el 2006.

*Especial atención a la protección de la avifauna*



*Subestación de transformación en la central hidroeléctrica de Prada*

### 3. SUBESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN.

Son las instalaciones que realizan las operaciones de transformación de la tensión, frecuencia o número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia o conexión de circuitos. Pueden ser clasificadas en interiores o exteriores, según que el material eléctrico se aloje o no dentro de un edificio construido especialmente para tal fin.

#### 3.1. Efectos medioambientales

Uno de los efectos medioambientales que exigen mayor atención es su

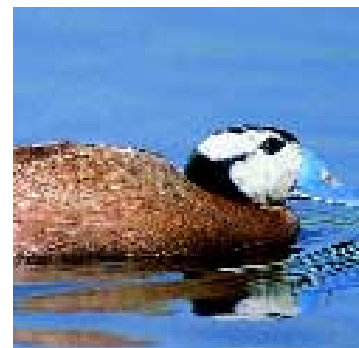
## Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Galápagos europeo*



*Rio Tietar (Avila-Toledo)*



*Malvasía cabeciblanca*



impacto sobre el paisaje. Este resulta mayor en los siguientes casos:

- Grandes y medianas subestaciones ubicadas junto a carreteras con fuerte tránsito de vehículos.
- Subestaciones situadas sobre cerros o en fondos de valles.
- Subestaciones situadas cerca de conjuntos histórico-artísticos, espacios naturales valiosos, puntos de interés turístico, etc., o bien en lugares visibles desde los mismos.
- Subestaciones con diseño arquitectónico contrario al autóctono en zonas rurales.

Por otro lado, la instalación de una subestación en una zona no urbana implica una pérdida de suelo y de vegetación por las explanaciones y la construcción de pistas de acceso que, dependiendo del tipo de suelo, tiene efectos potenciales sobre los fenómenos erosivos. Esta pérdida de suelo y vegetación puede tener asimismo consecuencias sobre determinadas especies de la fauna terrestre.

A su vez, los ruidos producidos por los transformadores y líneas pueden afectar a las personas que residen en las proximidades de la subestación y a las comunidades de animales del entorno que son sensibles a ellos. Finalmente, en caso de fugas de policlorobencenos (PCB's) o de aceites de refrigeración y aislamiento de los componentes de la subestación, o de ácidos y otros electrolitos de baterías eléctricas, puede tener lugar una contaminación hídrica o del terreno.

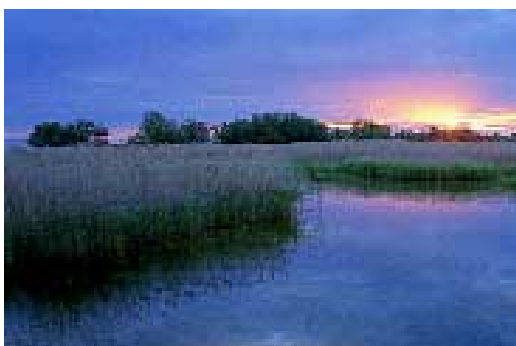
### 3.2. Medidas correctoras

Las medidas adoptadas por el sector eléctrico son fundamentalmente las que se tienen en cuenta en los estudios de impacto ambiental de las subestaciones de nueva construcción, aunque, como en el caso de las líneas, su redacción no es obligatoria según la legislación vigente. También se están realizando evaluaciones medioambientales de las subestaciones ya existentes para la detección de sus efectos y la adopción de las medidas pertinentes. En las Guías Metodológicas para la realización de Estudios de Impacto Ambiental de Subestaciones que han sido elaboradas por el sector eléctrico se reflejan las medidas correctoras que se han de aplicar a toda nueva subestación. A modo de ejemplo, cabe mencionar las siguientes:



*Las redes de transporte eléctrico deben salvar en ocasiones grandes obstáculos orográficos*

*El efecto de impacto sobre el paisaje exige una especial atención*



*Tablas de Daimiel (Ciudad Real)*



*Gamos en Doñana*



*Estuario del Miño (Pontevedra)*

## 6. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

- Revegetación de taludes, terraplenes y superficies desnudas, para compensar la pérdida de suelos y evitar la erosión.
- Utilización de la maquinaria adecuada para reducir la destrucción de la vegetación y del habitat de ciertas especies animales.
- Adaptación de edificios a la tipología constructiva de la zona.
- Implantación de pantallas, masas y estructuras vegetales de ocultación.
- Establecimiento de franjas de seguridad y uso de vegetación no pirófitas en prevención de incendios forestales.
- Combinación de pantallas vegetales y de otros materiales para la prevención de la emisión de ruidos.
- Instalación de cubetos estancos debajo de los transformadores y otros componentes de la subestación para detener posibles fugas de los fluidos aislantes que éstos contienen. La red de drenajes de la instalación ha de diseñarse de forma que no se pueda producir de forma accidental su vertido al exterior o la contaminación del terreno.

*Evitar y detener  
posibles fugas de  
fluidos en las  
estaciones  
transformadoras*

Por último, y al igual que las líneas, las subestaciones son centros englobados en los sistemas de auditoría y evaluación medioambiental que las empresas eléctricas están implantando dentro de sus nuevos sistemas de gestión, donde será incluida la gestión de policlorobifenilos (PCBs) y policloroterfenilos (PCTs) que según el Real Decreto de 28 de Agosto de 1999 deberán ser eliminados conjuntamente con los equipos que los contengan en el periodo comprendido entre los años 2000-2010, así como el desarrollo de los mapas de ruido ambiental que previsiblemente tendrán que realizarse a partir del desarrollo normativo que a este respecto se está elaborando en la Unión Europea.

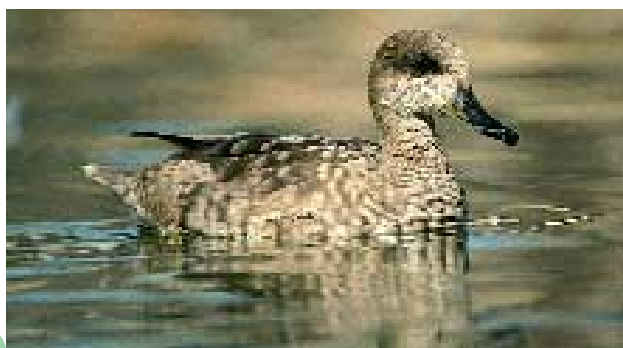


*Subestación transformadora de la central hidroeléctrica de Tabescán*

### 4. REDES DE BAJA TENSIÓN Y CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.

Estas instalaciones cumplen las mismas funciones que las líneas de transporte y distribución y las subestaciones, pero a menor tensión y potencia. En general, su impacto ambiental es escaso, pero dado que existe un eleva-

## Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Cerceta pardilla*



*Alameda*



*Renacuajo de sapo de espuelas*



do número de instalaciones de este tipo, pueden darse situaciones concretas en las que dicho impacto merezca mayor atención.

En relación con las redes de baja tensión, cabe mencionar el impacto visual que pueden producir en zonas urbanas y rurales de cierto valor paisajístico o histórico-artístico. En el caso de los centros de transformación, hay que añadir los posibles efectos de la emisión de ruidos o residuos.

En la mayoría de los casos, los impactos potenciales se encuentran regulados en el ámbito local a través de las ordenanzas de los diferentes Ayuntamientos, por lo que es difícil hablar de una actuación sectorial al respecto, salvo en el hecho de que las empresas eléctricas tienen en común su habitual disposición a satisfacer los requerimientos de los municipios en esta materia. Así, existen convenios con determinados Ayuntamientos para el enterramiento de líneas de baja tensión que atraviesan zonas monumentales, cascos históricos, etc. Por otro lado, la casi totalidad de las nuevas líneas de estas características son subterráneas, por lo que no tienen impacto alguno sobre el paisaje.

En el caso de los centros de transformación, existen iniciativas para que su diseño tenga en cuenta condicionantes medioambientales, tanto estéticos como de reducción del nivel de ruido. Este es un campo en el que las mejoras se deben producir mediante la colaboración entre la empresa eléctrica, los promotores y constructores –de los que muchas veces depende el diseño de los centros de transformación– y los Ayuntamientos.

## 5. LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

La corriente alterna de 50 hercios genera dos tipos de campos: uno eléctrico, que depende de la tensión, y otro magnético, que es función de la intensidad de la corriente. Estos campos se suman a los campos eléctricos y magnéticos que existen de forma natural en el ambiente a causa de cargas eléctricas de la atmósfera, tormentas, magnetismo terrestre, etc.

Los valores máximos de intensidad del campo eléctrico que puede generar una línea eléctrica de alta tensión –alrededor de 7 kV/m– se encuentran comprendidos entre el mínimo y el máximo natural, e incluso muy por debajo de este valor –20 kV/m–. En cuanto



*Existe un Centro de Control a nivel nacional para la operación del transporte eléctrico*

*Los Ayuntamientos tienen capacidad normativa en sus áreas de competencias*



*Somormujo lavanco*



*Rosal silvestre*



*Ansar común*

## 6. EL TRANSPORTE Y LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

al campo magnético, el valor máximo atribuible a una línea es de unos 15 mt (microteslas), mientras el campo magnético natural tiene una intensidad de unos 40 mt.

Desde hace años, se vienen realizando numerosos estudios a nivel internacional que tratan de evaluar los efectos reales de los Campos Electro-Magnéticos (CEM) sobre la salud de las personas o sobre la ganadería o la agricultura. El sector eléctrico español, a través de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA (AMYS), ha desarrollado desde los años setenta investigaciones sobre los efectos de dichos campos sobre los seres vivos. Ninguna de ellas ha detectado hasta ahora que se produzcan, a corto plazo, efectos negativos sobre los seres expuestos a dichos campos.

*La Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA (AMYS) ha trabajado desde los años setenta en el estudio de los posibles efectos biológicos de los CEM*

Los estudios desarrollados se han venido centrando en los grupos de personas que están más expuestos regularmente a estos campos: los trabajadores de las líneas de alta tensión y de las estaciones transformadoras. Dichos estudios no han apreciado diferencias entre la salud del grupo de trabajadores seleccionado y la de un grupo de control, es decir, un conjunto de personas no expuestas profesionalmente a dichos campos.

Las medidas que han sido adoptadas por la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA) fijan valores límites de la exposición a campos eléctricos (de 5 a 30 mt, según que se trate de la exposición de público o trabajadores respectivamente) de forma que éstos no puedan siquiera producir sensaciones desagradables como resultado de microdescargas. Estas medidas se aplican al ambiente normal de una oficina o de una vivienda, donde por otro lado los campos magnéticos (de 100 mt para la exposición de público a 500 mt para la de trabajadores) son muchas veces superiores a los que crea una línea de distribución de electricidad.

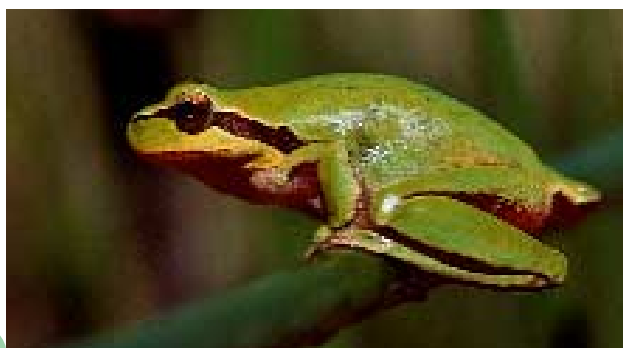


*El consumo de energía en los sectores comercial y residencial es un indicador de bienestar*

Los niveles máximos para la exposición de trabajadores contenidos en la Propuesta modificada de Directiva de la UE sobre protección de trabajadores frente a riesgos por agentes físicos (6 kV/m y 200 mt) son muy superiores a los que generan las líneas de alta tensión, por lo que en las normas comunitarias no se considera necesario establecer medidas de protección especiales para los trabajadores sometidos a los campos electromagnéticos producidos por las líneas.

Idénticos resultados de inocuidad se han registrado en los experimentos realizados con cultivos y especies animales de granja o ganadería.

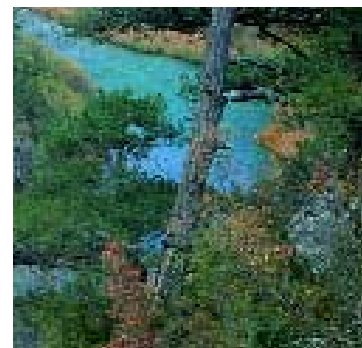
### Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Ranita meridional*



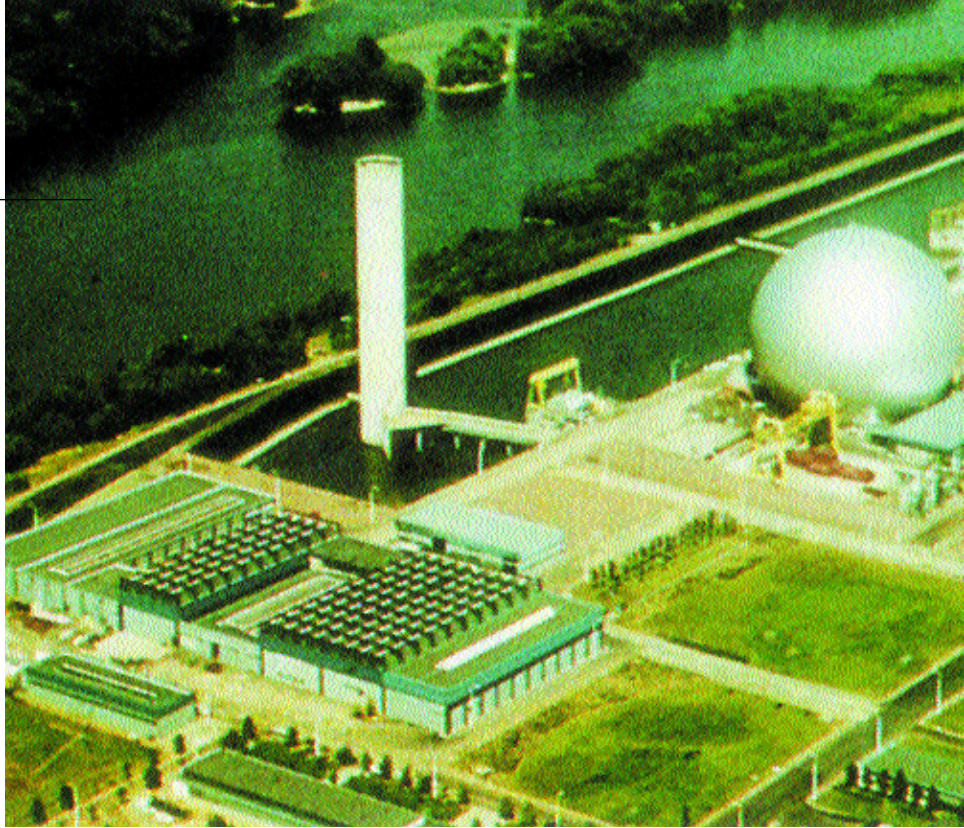
*Laguna en Sevilla*



*Alto Tajo (Guadalajara)*



El ser humano se encuentra permanentemente expuesto a los campos eléctricos y magnéticos presentes en la naturaleza. Además, el desarrollo de la sociedad industrial ha añadido a los anteriores una serie de campos eléctricos y magnéticos artificiales generados por distintos aparatos e instalaciones eléctricas que son imprescindibles para el desarrollo económico y para la consecución de un determinado nivel de calidad de vida. Las investigaciones realizadas hasta la fecha en todo el mundo no han detectado que dichos campos tengan efectos nocivos, ni a corto ni a largo plazo, sobre la salud de las personas expuestas a ellos.



*El desarrollo industrial exige un empleo masivo de energía*

El 12 de Julio de 1999 el Diario de las Comunidades publicó la Recomendación del Consejo Europeo relativa a la exposición del público en general a los campos electromagnéticos comprendidos entre 0 Hz - 300 Hz, por lo que el Ministerio de Sanidad y Consumo será el encargado de adoptar las medidas necesarias para implementar esta Recomendación en nuestro país.

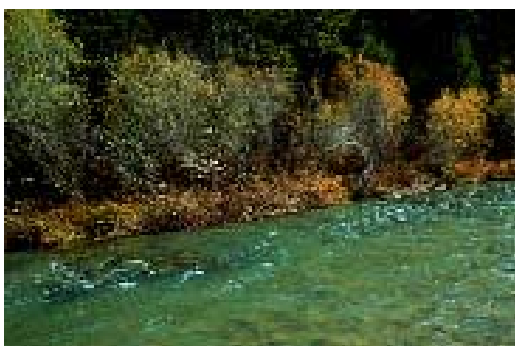
## **6. INVESTIGACIÓN MEDIOAMBIENTAL EN RELACIÓN CON INSTALACIONES DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN.**

De los proyectos de investigación y desarrollo medioambiental que realiza el sector eléctrico español en las áreas de transporte y distribución, cabe mencionar el iniciado en 1992 para estudiar la posibilidad de realizar inspecciones de mantenimiento de líneas de alta tensión con técnicas remotas mediante el uso de helicópteros. Estas técnicas permiten una mejora ambiental, ya que suponen un menor empleo de calles y caminos de acceso.

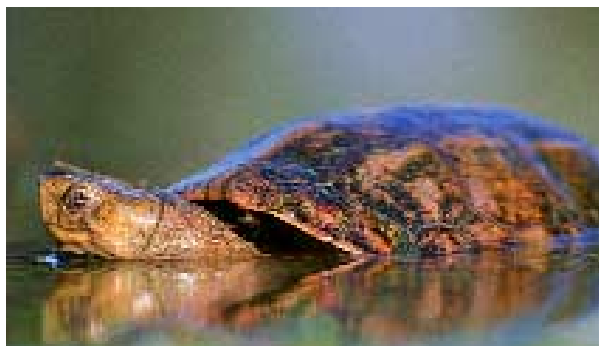
Por otro lado, el sector eléctrico ha realizado un proyecto relacionado con el diseño de centros de transformación prefabricados especiales para reducir los efectos de la emisión de ruidos.

Finalmente, como ha quedado expuesto en el apartado anterior, una importante línea de investigación de las empresas eléctricas españolas en relación con las actividades de transporte y distribución es la que analiza los efectos de los campos eléctricos y magnéticos.

*Hay numerosos proyectos de investigación y desarrollo medioambiental en el área del Transporte y Distribución Eléctrica*



*Alto Tajo (Guadalajara)*



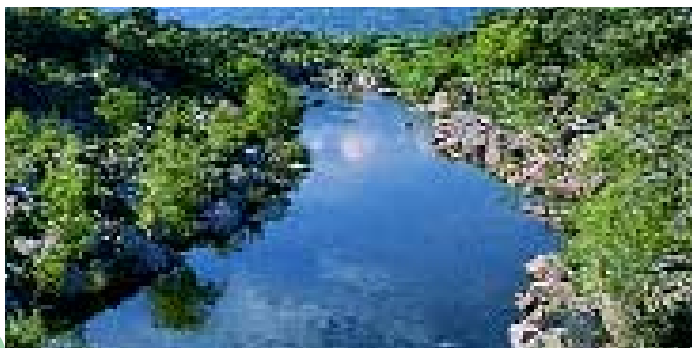
*Galápagos leproso*



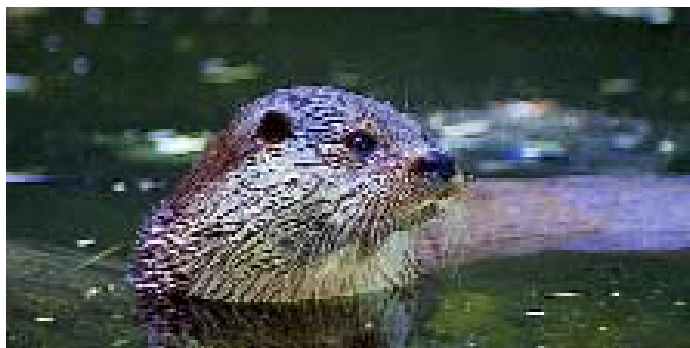
*Río Tajo en Toledo*

## *Fauna y Flora Españolas*

---



*Río Tíetar (Avila-Toledo)*



*Nutria*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 5. LOS EFLUENTES GASEOSOS Y LÍQUIDOS

#### 5.1. Límites de vertido de efluentes

El funcionamiento de las centrales nucleares se efectúa de acuerdo con unos límites de descarga de efluentes que se derivan de los límites de dosis establecidos para los trabajadores y para el público. Estos límites están basados en los siguientes principios:

- No se adoptará ninguna práctica que signifique una exposición a la radiación, a menos que su introducción represente un beneficio neto positivo para los individuos expuestos o para la sociedad.
- Todas las exposiciones se mantendrán en niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.
- La dosis equivalente individual no excederá los límites recogidos en el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes.

Los límites establecidos se refieren a valores de la dosis equivalente (o de alguna magnitud relacionada) que no deben ser superados en condiciones normales. El incumplimiento de los mismos supone una transgresión de las normas de protección radiológica.

Hay tres tipos de límites: **básicos, derivados y autorizados**. Los primeros son los recomendados por las organizaciones competentes en materia de protección radiológica. Los derivados se establecen con objeto de permitir una comparación directa con magnitudes

medibles diferentes de la dosis equivalente, como son las concentraciones de elementos radiactivos en aire, agua, suelo, etc., dado que el conocimiento de las dosis equivalentes es, en ocasiones, una tarea más laboriosa. Estos límites se relacionan con los básicos mediante modelos de cálculo, de modo que pueda asegurarse que, si los límites derivados son respetados, lo son igualmente los básicos.

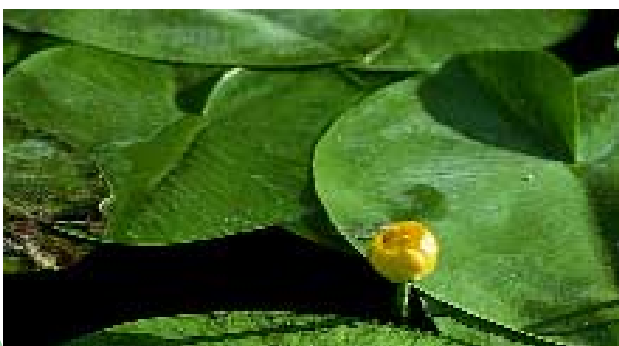
Finalmente, los límites autorizados son los establecidos por la autoridad competente. Habitualmente se refieren a la concentración e inventario del material radiactivo descargado con los efluentes y tratan de asegurar que el público no

*Los límites máximos de vertido de efluentes pueden clasificarse en: "básicos", "derivados" y "autorizados"*



*Vista general de la central nuclear José Cabrera*

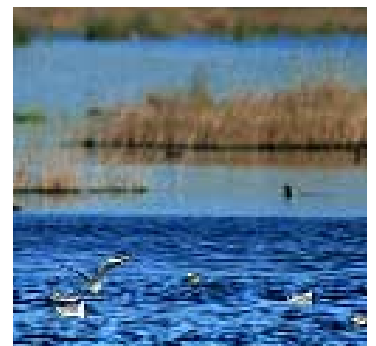
### Fauna y Flora Españolas    Ríos y humedales



*Nenúfar*



*Calamón*



*Laguna de Pedro Muñoz (Ciudad Real)*

recibe por ellos una dosis superior a los límites básicos.

Tanto los límites derivados como los autorizados se refieren a las cantidades de material radiactivo que pueden descargarse al exterior a través de los efluentes y constituyen los límites de vertido. Además, existen unos niveles de referencia que, si bien no son límites en sí mismos, constituyen un índice de la situación existente desde el punto de vista radiológico en la zona que es objeto de control.

El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes establece que toda evacuación de desechos y residuos radiactivos al medio ambiente requerirá autorización administrativa expresa y se efectuará en las condiciones que en ella se especifiquen.

Así, las centrales nucleares españolas disponen en la práctica de unos límites autorizados de vertido y unos niveles de referencia que se recogen en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y que se detallan en el Manual de Cálculo de Dosis al Exterior. Dicho documento:

- Establece los límites de concentración de los efluentes y las dosis máximas permitidas en el exterior como consecuencia del vertido de los efluentes, así como los requisitos de operación y de mantenimiento de los instrumentos que vigilan las descargas, el programa de recogida de muestras y, en general, todo el programa de control de efluentes radiactivos.
- Presenta una descripción detallada de las vías de emisión y de su vigilancia.
- Contiene la metodología de cálculo empleada para establecer los puntos de tarado de los instrumentos de vigilancia y para la realización de los cálculos de las dosis en el exterior.

## 5.2. La vigilancia y el control de los efluentes

La vigilancia y control de los vertidos se efectúa desde los propios efluentes radiactivos y desde el medio ambiente que los recibe. El sistema de vigilancia de efluentes mide y supervisa el nivel de actividad de los efluentes gaseosos y líquidos antes de su descarga al exterior. El sistema de vigilancia radiológica ambiental mide los niveles de radiactividad en el medio ambiente circundante a la instalación. Ambos sistemas son complementarios. La concentración de actividad es más alta en los efluentes antes de que se evacúen al



*Vista nocturna de la central nuclear de Trillo*

*Las centrales nucleares españolas deben sujetarse a unos límites de vertidos autorizados por las organismos competentes*



*Pajarera en Doñana*



*Juncos*



*Cigüeñuela*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

exterior donde se diluirían. Por tanto, los elementos radiactivos y sus mezclas pueden ser identificados y medidos con mayor precisión a efectos de su comparación con los límites autorizados.

Las medidas de vigilancia y control de efluentes de las centrales nucleares tienen los objetivos siguientes:

- Verificar el cumplimiento de los límites autorizados.
- Permitir la evaluación del comportamiento de la central, especialmente de los sistemas de tratamiento de residuos y de efluentes.
- Garantizar la medición del impacto radiológico ambiental y la estimación de las dosis anuales que pueden afectar al público y a los trabajadores de la central.
- Disponer de una información precisa sobre la identidad y cantidad de elementos radiactivos específicos en los efluentes emitidos.
- Detectar e identificar inmediatamente la naturaleza y proporción de cualquier emisión anómala de efluentes.
- Activar los sistemas de alarma y respuesta cuando se superen los límites previamente establecidos.

Con el fin de asegurar que se cumplen los objetivos citados anteriormente, se establece un programa minucioso de vigilancia de efluentes que permite asegurar el control

permanente de las emisiones continuas y la medición e identificación de las características del efluente, antes de su descarga, en el caso de las emisiones discretas. El programa establece la situación de los puntos de vigilancia de forma que se controla todo el camino de emisión, se asegura que los datos obtenidos son representativos, se consideran los contaminantes más significativos y se garantiza que la situación de los puntos vigilados es la adecuada para identificar rápidamente cualquier emisión anormal.

Para cumplir los objetivos del programa de vigilancia, las centrales

*Control  
permanente de las  
emisiones,  
medición e  
identificación de  
las características  
de los efluentes*



*Edificio de la central nuclear José Cabrera*

### *Fauna y Flora Españolas    Ríos y humedales*



*Laguna de Gallocanta*



*Río Guadamar en Doñana*



*Cangrejo de río americano*

nucleares disponen de los siguientes sistemas de control:

**- El sistema de vigilancia radiológica de procesos.-** Está integrado en el sistema de vigilancia radiológica de la central (de personal, de áreas, ambiental y de procesos). Permite medir y controlar el nivel de actividad de los fluidos que circulan por las tuberías y conductos de los diferentes sistemas, a fin de conocer tanto la necesidad de procesarlos mediante los correspondientes sistemas de tratamiento de desechos –líquidos, gaseosos o sólidos– como la eficacia de estos últimos. Asimismo, activa las señales de alarma cuando los citados niveles superan unos valores predeterminados.

**- La toma de muestras y el análisis radiológico.-** Como complemento del sistema de vigilancia de procesos, y con el fin de asegurar que la descarga de los efluentes, tanto líquidos como gaseosos, cumple con los límites establecidos, se efectúa regularmente una toma de muestras y su posterior análisis radiológico. Es un proceso rutinario que se puede ampliar en los casos en los que se considera necesario. Esta toma de medidas es complementaria de la que se realiza mediante el sistema de vigilancia de procesos, que detecta la actividad radiactiva global. El análisis de muestras permite conocer cada uno de los elementos radiactivos que contiene el efluente.

**- Los controles administrativos.-** Existe un riguroso sistema de control administrativo que asegura que cada emisión de efluentes cuenta con el correspondiente Permiso de Descarga. Su objetivo es verificar el cumplimiento de los límites autorizados, asegurar la obtención de datos para la evaluación del impacto ambiental y facilitar la disponibilidad de registros exhaustivos de las emisiones realizadas.

**- La evaluación y registro de descargas.-** A partir de toda la información disponible sobre las descargas, se efectúa la evaluación del impacto radiológico exterior para estimar las dosis que podría recibir la población del entorno y asegurar que no superarán los límites establecidos. Esto se lleva a cabo mediante códigos de cálculo que consideran todas las vías de posible recepción de dosis, como inhalación, dosis directa e ingestión, y tienen en cuenta los hábitos de consumo de la población y otros factores. Los resultados de dicha estimación se envían periódicamente al CSN para su evaluación.



*Vista general de la central nuclear de Cofrentes*

*Existe un riguroso sistema de control administrativo para la emisión de efluentes*



*Carrizal*



*Sotos de Ebro (Navarra)*



*Salicornia*



5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

6. LOS PROGRAMAS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

6.1. La vigilancia durante la operación normal

Además de la vigilancia y control de los efluentes descargados, las centrales nucleares disponen de **Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental** que se aplican a la zona comprendida en un radio de 30 Km alrededor del emplazamiento. Su objetivo es vigilar el impacto radiológico que se pueda producir en el entorno, controlando los niveles de contaminación del aire, las aguas, los suelos y los alimentos.

En la zona citada, se seleccionan entre 30 y 40 puntos sobre los cuales se realiza la vigilancia. La selección se efectúa en todas las direcciones y teniendo en cuenta las características demográficas, los usos de la tierra, los cultivos y ganaderías existentes en la zona, la existencia de aguas superficiales o subterráneas, las direcciones predominantes de los vientos y, en general, todas los posibles caminos de contribución a las dosis que podría recibir la población, tanto por hábitos de consumo, como por hábitos recreativos o usos industriales.

El acceso a los diferentes puntos de vigilancia y muestreo se establece a través de rutas seleccionadas que permiten optimizar la recogida periódica de datos y muestras. En función de los tipos de datos o muestras, la periodicidad varía entre una y varias semanas. Las muestras recogidas son posteriormente analizadas con el fin de identificar los niveles de radiactividad y los elementos que la componen.

Para el control del aire, se recogen muestras de partículas de polvo por medio de filtros que son analizados con técnicas de laboratorio para determinar los elementos radiactivos presentes en un volumen de aire dado. Asimismo, se mide la tasa de dosis existente en el punto de muestreo y la dosis acumulada a lo largo del tiempo.

El estudio de la situación de las aguas se efectúa a través de muestras de agua de lluvia y agua potable, de las corrientes subterráneas y superficiales existentes y, en su caso, de agua del mar.

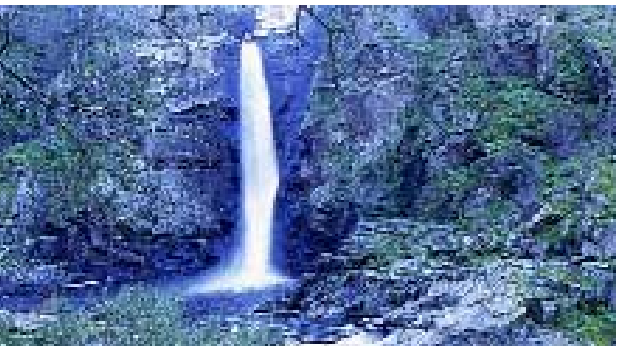
La contaminación que pudiera producirse por la deposición de partículas radiactivas en el terreno se vigila a través de muestras de arena, suelos y sedimentos.

La vigilancia radiológica se realiza sobre el entorno de la central, el aire y el agua



Central nuclear de Vandellós II

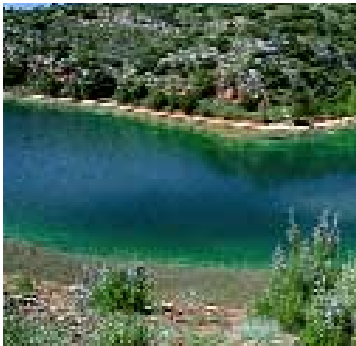
Fauna y Flora Españolas    Ríos y humedales



Arribes del Duero (Zamora-Salamanca)



Carricero tordal



Lagunas de Ruidera

Dado que una de las vías de recepción de las dosis radiactivas es la ingestión de alimentos, se recogen también muestras de leche, pescados, mariscos, carnes, aves, huevos, vegetales, cultivos, miel y otros productos que, por su naturaleza, son buenos indicadores de la presencia de radiactividad, así como de cualquier otro específico del entorno de cada central.

Anualmente, cada central registra datos directos y recoge un promedio de 1.500 muestras. De cada una de ellas se efectúan uno o varios análisis que generan más de 5.000 datos. Además, se recogen muestras para "control de calidad" que permiten contrastar los resultados de los análisis con el fin de asegurar que éstos son correctos. El Consejo de Seguridad Nuclear, (CSN), por su parte, recoge sus propias muestras para comprobar los resultados obtenidos por el operador de la central.

A partir de los datos, y mediante códigos de ordenador, se calculan las dosis equivalentes que recibe la población del entorno de la central. Los resultados obtenidos, aunque varían de una instalación a otra, indican que la dosis de radiación es despreciable frente a los valores del fondo natural, al situarse en el orden de una milésima del valor de dicho fondo.

Estos valores están muy por debajo de los niveles que se consideran inocuos para el ser humano y son asimismo inferiores a los correspondientes al fondo natural.

Periódicamente se informa al CSN sobre el desarrollo de estos programas, quedando recogidos los resultados en un informe anual. A su vez, el CSN, tras su revisión, informa al Congreso de los Diputados y al Senado mediante informes anuales. En las conclusiones del informe correspondiente a 1999, y en la misma línea de otros anteriores, el CSN señala que:

*"La radiactividad emitida tanto en forma líquida como gaseosa fue similar a la de otras instalaciones europeas o americanas y confirmó la tendencia decreciente que se ha constatado en los últimos años. Por otra parte, la estimación de las dosis que dichos vertidos ocasionarían en la población arrojó valores muy inferiores a los límites establecidos para el público. En 1999, el CSN analizó los resultados de los programas de vigilancia radiológica ambiental que los titulares de las instalaciones están obligados a llevar a cabo. Los datos estudiados mostraron valores similares a los de los años anteriores y alejados de situaciones de riesgo radiológico. El control independiente que efectúa el CSN o encomienda a las comunidades autónomas de Cataluña y Valencia obtuvo resultados equivalentes a los de las instalaciones nucleares."*



Central nuclear de Trillo

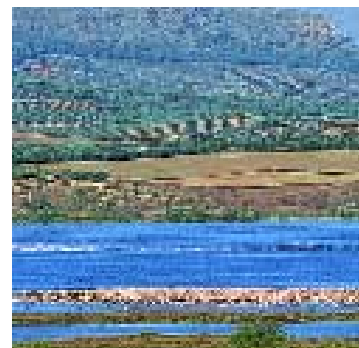
*El Consejo de Seguridad Nuclear informa al Congreso y al Senado sobre el funcionamiento de nuestras centrales nucleares*



Arrozales en el Delta del Ebro



Flamencos



Laguna de Fuente de Piedra (Málaga)



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 6.2. La vigilancia en caso de accidente

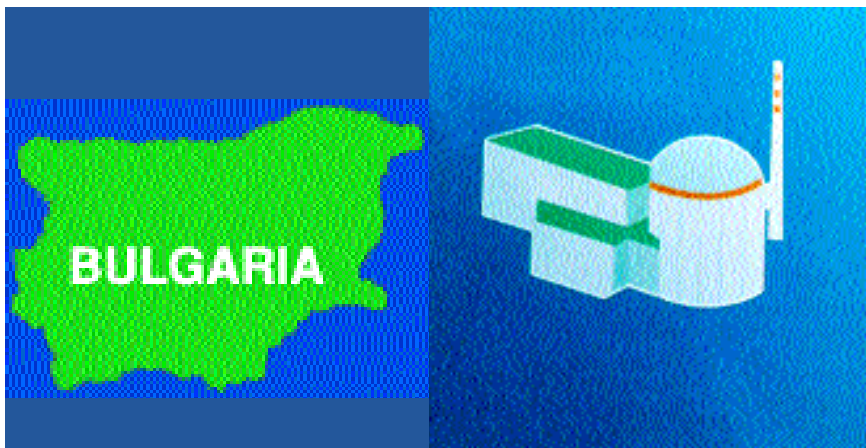
Las centrales nucleares tienen previstas las medidas a tomar para la vigilancia radiológica del entorno en el caso hipotético de que tenga lugar un accidente. Aunque el **Plan Básico de Emergencia Nuclear** responsabiliza de esta vigilancia al Grupo Radiológico adscrito a la organización responsable de la aplicación del **Plan de Emergencia Exterior** –Protección Civil –, las centrales tienen previstos sus propios **Programas de Vigilancia Ambiental en Emergencia** (PVRE).

Estos se basan, a su vez, en los programas de vigilancia ambiental en operación normal, pero las decisiones sobre los puntos elegidos para la recogida de datos y muestras se pueden ir alterando en función de la evolución del accidente, de la descarga real o prevista de material radiactivo, de las condiciones meteorológicas presentes y de su evolución previsible. A partir de estos datos, se efectuarían las estimaciones de las dosis que podría recibir la población y se tomarían medidas preventivas de protección.

*Cada central tiene previstos sus propios Programas de Vigilancia Ambiental en Emergencia (PVRE)*

Las medidas previstas se ponen en práctica casi todos los años durante los Simulacros de Emergencia para entrenar a todo el personal que pudiera tener que ejecutarlas en una situación de emergencia real, así como para identificar posibles fallos de ejecución o de coordinación que únicamente pueden detectarse cuando se ponen a prueba. En tal caso, los programas se corrigen, modifican y completan en la forma precisa a fin de estar en condiciones de que, si ocurriese una descarga de material radiactivo accidental, el personal de la central esté perfectamente capacitado para desarrollar las acciones previstas.

Las tareas de descontaminación posterior que pudiera ser preciso efectuar en este supuesto son responsabilidad de otras organizaciones ajenas a la central, según establece el citado Plan Básico. No obstante, la central puede colaborar en esta fase con personal especializado y medios técnicos.



*La seguridad de las centrales nucleares quedó una vez más patentizada en 1997, cuando un gran terremoto sacudió la zona de Kozloduy, Bulgaria, y no afectó a la central allí existente*

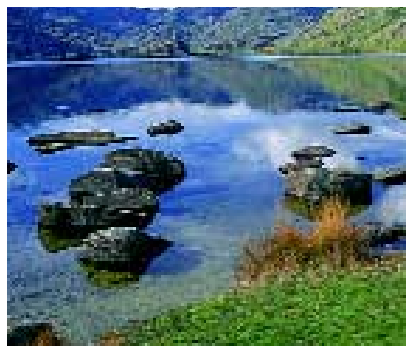
### 7. LOS RESIDUOS RADIATIVOS SÓLIDOS

La definición de "residuo" se concibe desde la perspectiva de su utilidad posterior (residuo es lo que no se utiliza o no sirve para nada). El grado de interés por su tratamiento y gestión está asociado a su potencial nivel de peligrosidad. La socie-

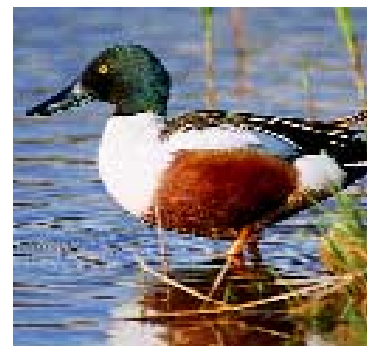
### Fauna y Flora Españolas *Ríos y humedales*



*Sapo común*



*Lago de Sanabria (Zamora)*



*Pato cuchara*

dad no se preocupa por aquellos residuos que considera "inocuos", existiendo en muchos casos niveles establecidos para identificar lo que es "inocuo", siendo éstos aceptados, en general, por la sociedad.

Lógicamente, es preciso definir un límite inferior. La radiactividad natural existe. Las aguas de los manantiales, de extendido consumo, tienen unos ciertos niveles de radiactividad, así como los terrenos y formaciones rocosas en general.

En nuestro país, la Ley 54/1997 ha definido Residuo Radiactivo como:

*"Cualquier material o producto de desecho para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear"*

Con ello, se permite que las autoridades competentes puedan establecer unos límites inferiores por debajo de los cuales se considere el residuo como "inocuo" y, por tanto, no se haga necesario gestionarlo como un residuo radiactivo. No obstante, no se dispone todavía de un valor inferior aceptado por lo que la práctica totalidad de los residuos que se producen se tratan y gestionan como residuos radiactivos.

Durante el funcionamiento de las centrales nucleares, tal como se ha descrito en apartados anteriores, se generan residuos radiactivos sólidos. Estos residuos se clasifican fundamentalmente atendiendo a su actividad y al período de semidesintegración de los elementos radiactivos que los componen. Así, se distinguen dos tipos:

- Residuos de baja y media actividad (RBMA), que tienen una actividad específica baja, cuentan con elementos emisores de radiaciones beta-gamma con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años y un contenido limitado en elementos emisores alfa de vida larga.
- Residuos de alta actividad (RAA), que presentan una elevada actividad específica en elementos emisores de vida corta, contienen elementos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables y producen cantidades significativas de calor.



5.600 año-reactor de funcionamiento acumulado patentizan la seguridad de las instalaciones nucleares

Los residuos radioactivos se clasifican en: *baja y media actividad (RBMA) y alta actividad (RAA)*



Carrizos y eneas



Culebra viperina



Zarzamora



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

La mayor parte de los residuos es ligeramente radiactiva y pertenece a los llamados de baja y media actividad. Sólo una pequeña fracción del total, los llamados residuos de alta actividad, es muy radiactiva.

### VOLUMEN DE RESIDUOS ANUALES PRODUCIDOS POR UNA CENTRAL TÍPICA DE 100 MWe

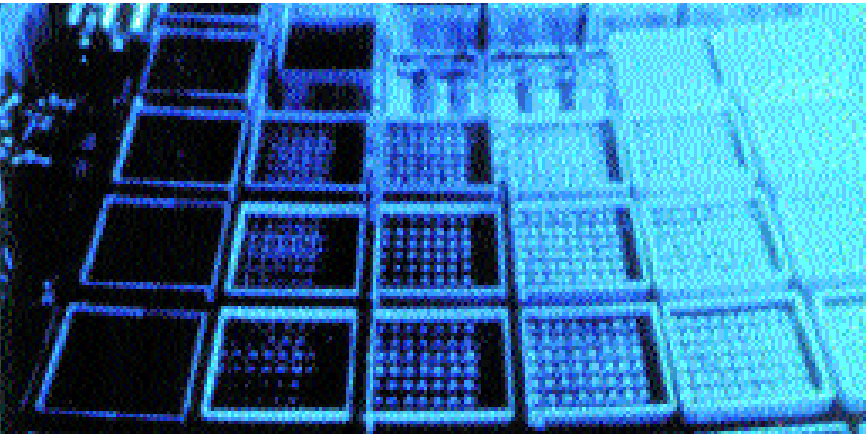
| TIPO                   | VOLUMEN (m <sup>3</sup> ) | PORCENTAJE |
|------------------------|---------------------------|------------|
| Baja y media actividad | 140                       | 82 %       |
| Alta actividad         | 30                        | 18%        |

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Empresa de Residuos Radiactivos (ENRESA) establecen los criterios de almacenamiento de residuos

Dado que estos residuos no tienen prevista ninguna utilidad en España, su destino es ser almacenados de forma definitiva en instalaciones centralizadas (repositorios). Por ello, el tratamiento que reciben en las centrales nucleares consiste en almacenarlos de manera provisional en las condiciones adecuadas para su posterior retirada y almacenamiento definitivo. La responsabilidad de la retirada y gestión final en España de este tipo de residuos corresponde a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), constituida según Real Decreto 1522/1984 de 4 de Julio.

#### 7.1 Los residuos radiactivos de baja y media actividad

Los residuos de baja y media actividad contienen, básicamente, productos de fisión y de activación con períodos de semidesintegración cortos, por lo que su actividad va decayendo hasta ser inocua en unos pocos decenios.

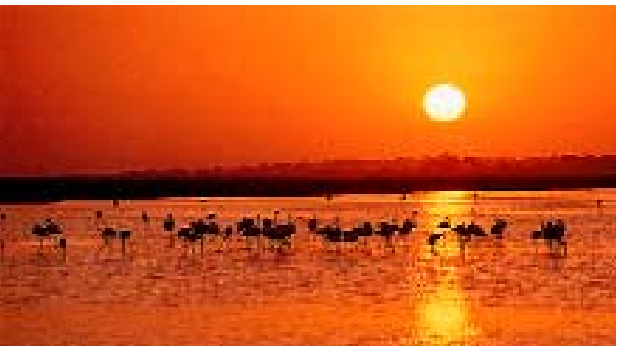


Piscinas de almacenamiento de combustible gastado en una central nuclear

El tratamiento que se les da en las centrales nucleares consiste básicamente en su acondicionamiento e inmovilización en bidones de acuerdo con criterios establecidos por el CSN y ENRESA. Los bidones se almacenan temporalmente en las centrales en recintos diseñados para tal fin, hasta que son retirados por ENRESA para su transporte y almacenamiento definitivo.

El ritmo de generación anual de residuos radiactivos en las centrales nucleares españolas viene decreciendo

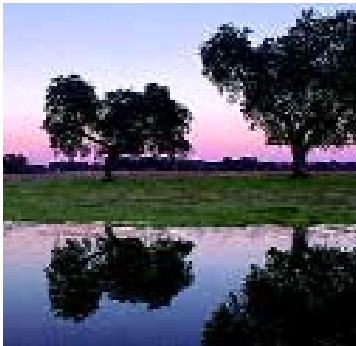
### Fauna y Flora Españolas    Ríos y humedales



Salinas de Bonanza (Cádiz)



Garceta común



Charca en una dehesa

como consecuencia de los programas de mejora de gestión y desarrollo de proyectos de inversión. Las estimaciones efectuadas en los sucesivos Planes Generales de Residuos Radiactivos lo demuestran. La generación anual media de dichos residuos por unidad de potencia ha pasado de 440 m<sup>3</sup>/GWe en el Primer Plan a 270 m<sup>3</sup>/GWe en el Segundo, 250 m<sup>3</sup>/GWe en el Tercero, 190 m<sup>3</sup>/GWe en el Cuarto y 140 m<sup>3</sup>/GWe en el Quinto que es el actualmente vigente.

El impacto radiológico de estos residuos durante su permanencia en las centrales es prácticamente nulo y queda incluido en lo expuesto en apartados anteriores. Por su parte, el impacto radiológico de las instalaciones de almacenamiento definitivo no entra en el ámbito de este documento. No obstante, se puede señalar que, al ser los repositorios instalaciones radiactivas, están sometidos a requisitos de diseño y de vigilancia y control similares a los de las centrales nucleares.



*Instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media intensidad en El Cabril*

## 7.2. Los residuos radiactivos de alta actividad

Los residuos radiactivos de alta actividad generados en las centrales nucleares están constituidos por los elementos combustibles gastados. La tecnología actual permite su reprocesamiento para extraer algunos de sus componentes y reutilizarlos. La Convención sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y Residuos Radiactivos, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), distingue claramente entre residuos de alta actividad y combustible gastado, ya que el combustible gastado tiene una posible utilidad a través del potencial energético que aún posee.

*"El combustible gastado no debe ser considerado como un residuo mientras permanezca abierta la opción del reprocesamiento y quepa prever el uso futuro del mismo"*

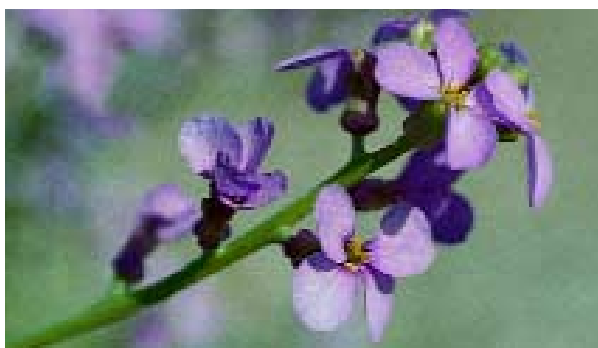
No obstante, la política adoptada por España ha sido renunciar a este tipo de actividades, como se refleja en el artículo 1º del Real Decreto 1899/1984 de 1 de agosto sobre Ordenación de Actividades del Ciclo de Combustible Nuclear. Por ello, los elementos combustibles gastados se consideran residuos desde el momento en el que son extraídos del reactor.

Antes de proceder a su almacenamiento definitivo, los elementos combustibles gastados han

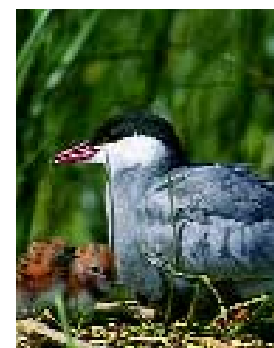
*España ha renunciado a reutilizar los elementos combustibles gastados*



*Garza real*



*Flora (Dunas del Delta del Ebro)*



*Fumarel cariblanco*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

de permanecer en un almacenamiento intermedio para que se enfríen. Durante este tiempo, se produce además un descenso muy significativo de la actividad de los elementos radiactivos que contienen. Este almacenamiento temporal se realiza actualmente en piscinas especiales existentes en las propias centrales. Las autorizaciones correspondientes son concedidas por las autoridades competentes junto con las de puesta en marcha de la central.

La responsabilidad del almacenamiento definitivo de estos residuos es competencia de ENRESA, por lo que éstos permanecen en las centrales hasta su retirada por dicha empresa. El Quinto Plan General de Residuos Radiactivos fija la fecha de 2010 para la toma de decisiones respecto de la forma de gestión definitiva del combustible gastado. El programa nacional de I+D contempla dos opciones básicas:

- Almacenamiento directo del combustible gastado, mediante el AGP (Almacenamiento Geológico Profundo).

- Separación y Transmutación de actínidos y productos de fisión de vida larga. Se pretende la transformación de elementos radiactivos de vida larga en elementos estables o en radionucleidos de vida corta y, en consecuencia, una reducción cualitativa y cuantitativa de los residuos radiactivos a gestionar.

En España, desde que se puso en marcha la primera central nuclear y hasta finales de 1998, se ha generado un total de 60 gramos de combustible gastado por habitante. Ante la ausencia actual de instalaciones centralizadas de estos residuos y las limitaciones existentes en la capacidad de almacenamiento propia prevista en su fase de diseño, las centrales han efectuado modificaciones para su ampliación. También se han dedicado importantes recursos para licenciar en España técnicas de almacenamiento en seco que están siendo actualmente utilizadas tanto en nuestro país como en otros países.

*Los residuos que generan las centrales españolas en los 40 años de vida operativa prevista, se estiman en unos 10.000 m<sup>3</sup>*

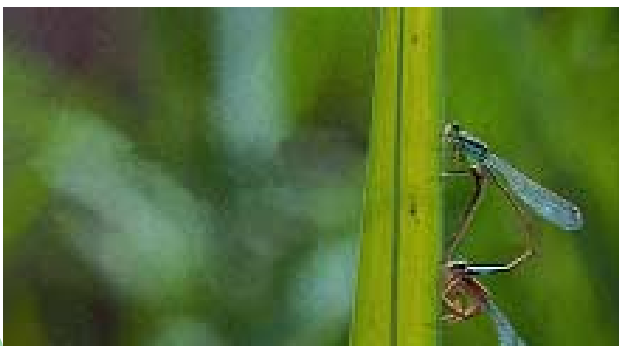


*Laboratorios de tratamiento de residuos de El Cabril*

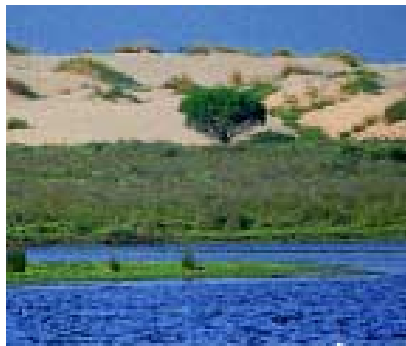
El volumen total de este tipo de residuos que generarán las centrales nucleares españolas actualmente en funcionamiento a lo largo de una vida operativa estimada de 40 años es de unos 10.000 m<sup>3</sup>, según el V Plan Nacional de Residuos Radiactivos, es decir, el volumen equivalente a una piscina de 100 m de largo, 50 m de ancho y 2 de profundidad.

En relación con su impacto radiológico, es aplicable lo ya indicado en el apartado anterior sobre residuos de baja y media actividad.

### Fauna y Flora Españolas    *Ríos y humedales*



*Libélulas*



*Laguna de Santa Olalla (Doñana)*



*Garcilla cangrejera*

### 7.3. El desmantelamiento de las centrales nucleares

Es preciso hacer mención finalmente a la fase de clausura y desmantelamiento de las centrales nucleares una vez finalizada su vida útil, dado que entre los materiales restantes pueden existir algunos que sean residuos radiactivos. Tras la retirada de los últimos elementos combustibles gastados del núcleo del reactor, la instalación se transfiere a ENRESA, que es la empresa responsable de las tareas de desmantelamiento. Las alternativas que se contemplan para ello son las siguientes:

- Mantenimiento indefinido de la instalación en situación de parada definitiva (desmantelamiento nivel 1).
- Desmantelamiento de las partes convencionales y de las que aún tengan un cierto nivel de actividad radiactiva, dejando el resto de los elementos, principalmente las estructuras, de forma que puedan ser reutilizados con algunas restricciones (desmantelamiento nivel 2).
- Desmantelamiento total, dejando el emplazamiento en condiciones de ser reutilizado sin ningún tipo de restricción (desmantelamiento nivel 3).

El impacto radiológico de cualquiera de los tres niveles indicados se puede calificar de nulo. Hasta ahora, no se ha llevado a cabo en el mundo ningún desmantelamiento de nivel 3 en centrales de explotación comercial, aunque sí en numerosos reactores de pequeña potencia. La decisión sobre cuál es el nivel de desmantelamiento más conveniente depende de consideraciones de coste y beneficio.

En España, los trabajos de desmantelamiento de Vandellós I, central clausurada en 1989, se iniciaron en 1998 tras la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental y las Autorizaciones administrativas correspondientes. El objetivo es alcanzar el nivel 2, lo que permitirá liberar mas del 80% del emplazamiento. En dicha situación permanecerá durante un periodo estimado de 30 años, tras el cual se completará el desmantelamiento total de las partes remanentes para alcanzar el nivel 3 y liberar totalmente el emplazamiento.



*Central nuclear Vandellós I, actualmente en desmantelamiento*

*El desmantelamiento de una central nuclear se realiza por fases*

### 8. LAS ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO MEDIOAMBIENTAL EN RELACIÓN CON LAS CENTRALES NUCLEARES

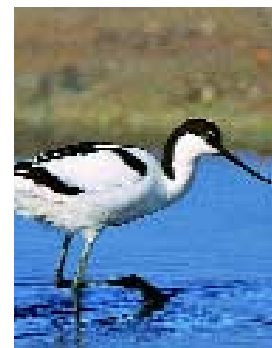
El impacto radiológico que produce la utilización de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica es perfectamente conocido y está controlado. Se mantiene muy por



*Lagunas de Villafáfila (Zamora)*



*Espátulas*



*Avoceta*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

debajo de los niveles que podrían causar perjuicios al medio ambiente y se sitúa asimismo por debajo de los valores del fondo radiactivo natural.

No obstante, y por criterios elementales de responsabilidad y prudencia, se continúan realizando actividades de investigación y desarrollo en esta área, dedicando especial atención a los métodos que optimizan los procesos de tratamiento, acondicionamiento y reducción de volumen de los residuos generados, así como a aquellos que sirven para mejorar la medida de las dosis que recibe el público.

La mayor parte de los proyectos contemplados, realizados o en curso, tienen como finalidad optimizar los procesos de tratamiento y acondicionamiento de los residuos sin afectar negativamente a las características del producto final. Asimismo, se desarrollan tecnologías dirigidas a reducir el volumen de residuos en origen, es decir, en las centrales; o para acondicionarlos de cara a su almacenamiento. De entre ellos, cabe citar los siguientes:

*El impacto radiológico que produce la energía nuclear es conocido y está perfectamente controlado*

- **Estudio de viabilidad para la libre evacuación, reciclado y uso de chatarra de acero generada en las centrales nucleares.**- Su objetivo ha sido evaluar el impacto radiológico de diversas prácticas de uso y destino de este material. Su aplicabilidad está especialmente dirigida al desmantelamiento y clausura de las instalaciones.

- **Tratamiento de líquidos contaminados por ósmosis inversa.**- Su objeto ha sido experimentar y analizar los procesos de ósmosis inversa como alternativa a los que generalmente se utilizan. Su finalidad, permitir la reducción del volumen de residuos y las exigencias de capacidad de evaporación en los sistemas de procesamiento.



*Ejemplo de actuación ambiental en las instalaciones de uranio de Andújar*

- **Estudio del uso de aditivos para mejorar el proceso de solidificación de resinas de intercambio iónico en matriz de cemento.**- Identifica aditivos para incorporarlos en el proceso de inmovilización de resinas en matrices de cemento. Las matrices obtenidas deben cumplir un conjunto de requisitos previamente establecidos. Su finalidad es inmovilizar más cantidad de residuos por unidad de volumen, mejorando las características de integridad de las matrices resultantes.

- **Purificación de efluentes de descontaminación.**- Este proyecto com-

### Fauna y Flora Españolas    *Ríos y humedales*



*Ánade real*



*Salinas de Torrevieja (Alicante)*



*Alevín de carpa*

para el método ordinario de purificación de desechos líquidos procedentes de la limpieza y descontaminación de equipos (resinas orgánicas) con un tratamiento con resinas inorgánicas.

**- Descontaminación de concentrados de evaporador.-** Estudia, por vía experimental, la posibilidad de descontaminar aguas que presentan niveles elevados de salinidad y radiactividad. Su objetivo es poder verter al exterior las aguas descontaminadas de modo que el vertido represente una parte insignificante del límite anual vigente.

**- Desección de residuos procedentes de tratamientos de descontaminación y de concentrados de evaporador.-** El fin de este proyecto es reducir la generación de bultos de residuos acondicionados procedentes de la descontaminación de equipos y sistemas y del concentrado de evaporadores.

**- Caracterización de materiales metálicos de desecho con actividad despreciable susceptibles de desclasificación.-** El objetivo de este proyecto es establecer unos procedimientos y metodologías que permitan caracterizar con rigor y fiabilidad el nivel de concentración de actividad y/o contaminación superficial de aquellos materiales de desecho de actividad despreciable que puedan ser susceptibles de desclasificación, incluyendo los niveles de confianza y de calidad del proceso de desclasificación.

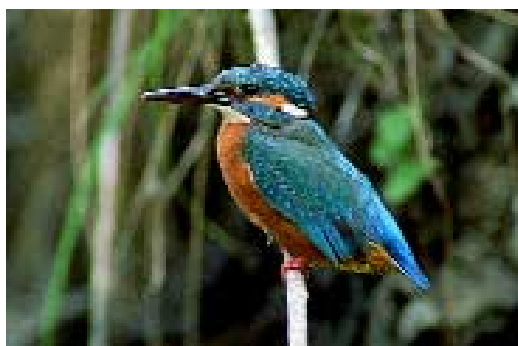
**- Caracterización de matrices para la gestión óptima de residuos de baja y media actividad (RBMA).** - El objetivo de este proyecto es la definición y caracterización de nuevas matrices de material vítreo partiendo de los condicionantes legales actualmente establecidos para El Cabril, como alternativa a las actuales matrices de hormigón. Estas matrices vítreas están asociadas a procesos de acondicionamiento de RBMA con factores de reducción de volumen muy considerables, lo que apoyaría la tendencia actual de conseguir la máxima concentración de actividad en el mínimo volumen posible, cumpliendo con todos los requerimientos de seguridad e, incluso, mejorando las condiciones de estabilidad, resistencia a la corrosión y lixiviación.

**- Desarrollo de un procedimiento para la calibración de las sondas de medida de tasas de dosis ambientales.-** El objetivo principal del proyecto es desarrollar un procedimiento que permita aumentar la fiabilidad de las medidas de la tasa de dosis ambiental proporcionadas por una sonda, de manera que los valores obtenidos sean prácticamente independientes de la sonda utilizada. Como objetivos secundarios están, el estudio de la

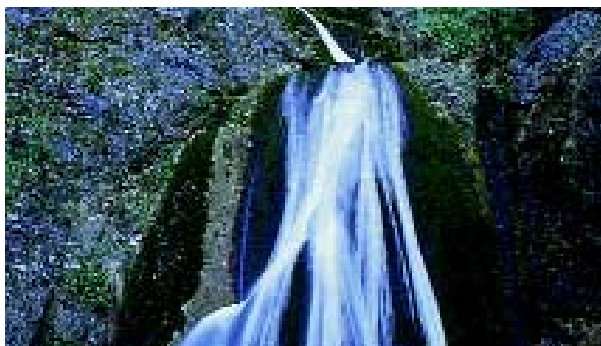


*Trabajos de investigación en el reactor rápido Super Phenix*

*Las actividades de investigación y desarrollo para reducir y tratar los residuos son constantes*



*Martín pescador*



*Nacimiento de Río Mundo (Albacete)*



*Martinete*



## 5. LAS CENTRALES NUCLEARES Y EL MEDIO AMBIENTE

---

influencia de las distintas fuentes de radiación natural sobre las sondas, de la relación entre las variaciones de ciertos parámetros meteorológicos con las variaciones de la tasa de dosis y el análisis de la influencia del entorno sobre la dosis ambiental. Por ejemplo, la presencia de edificios, vegetación, proximidad de fuentes emisoras de radiación producidas por la actividad del hombre, etc.

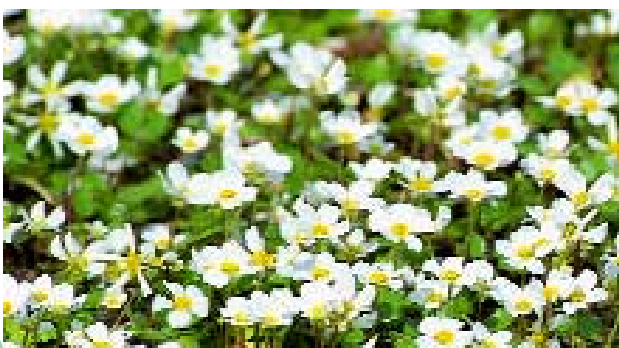
**- Evaluación de la dosis de radiación natural recibida por la población del entorno de las centrales nucleares españolas.-** El objetivo general es la evaluación de las dosis de radiación natural recibidas por las poblaciones del entorno de las distintas centrales nucleares del país, siendo las fuentes de exposición consideradas en el estudio, la exposición a la radiación gamma, tanto en el exterior como en el interior de edificios, y la exposición al Radon-222 y sus descendientes en el interior de las viviendas.

Varios de estos proyectos los desarrolla el sector eléctrico español en colaboración con el CSN y ENRESA. Para ello, se han suscrito Convenios de Colaboración en materia de Investigación y Desarrollo entre las partes interesadas, actuando UNESA en representación del conjunto de las empresas eléctricas españolas.

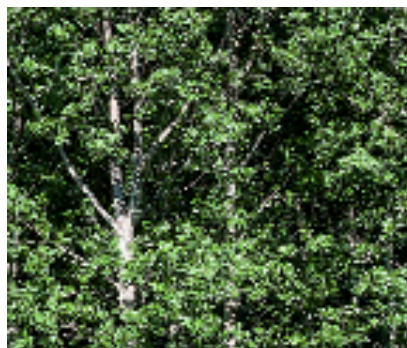
*CSN, ENRESA y UNESA han suscrito un Convenio de Colaboración en materia de Investigación y Desarrollo en el campo nuclear*

### *Fauna y Flora Españolas*

---



*Flora acuática*



*Chopera*



*Ciervos en Doñana*

## **CAPÍTULO 9**

---

# **LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE**

---



## 9. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE

Desde comienzos de la década de los ochenta se han desarrollado diversas tecnologías para la transformación energética del carbón, dirigidas a la generación eléctrica, que permiten una fácil y eficiente captura del azufre del combustible y en paralelo dan lugar a bajos niveles de formación y emisión de óxidos de nitrógeno. El objeto, por tanto, de estas tecnologías es la reducción de la contaminación atmosférica que produce el uso de combustibles fósiles para generación eléctrica.

Con estas soluciones se trata de evitar las plantas de tratamiento de los gases de combustión procedentes de las instalaciones convencionales, tanto para eliminar óxidos de azufre como óxidos de nitrógeno. Estas tecnologías, si bien presentan ventajas medioambientales, también tienen inconvenientes:

- Inversión extra elevada, consumo de reactivos y energía, todo lo cual se traduce en un incremento significativo del coste de generación eléctrica.
- Reducción del rendimiento energético de las instalaciones y por lo tanto incremento en las emisiones específicas de CO<sub>2</sub>.

*Las nuevas tecnologías minimizan las emisiones de azufre y nitrógeno*

Estas nuevas alternativas tecnológicas, que en principio se dirigieron hacia el uso exclusivo de carbón, se ha visto que son también de aplicación a las fracciones pesadas del refino del petróleo o al uso de crudos pesados. La producción de estos combustibles se incrementa en la actualidad en razón de la transformación de la industria del refino hacia un mayor suministro de fracciones ligeras dirigidas a la automoción. En las fracciones y crudos pesados hay una mayor concentración de azufre y de metales pesados que en los combustibles convencionales.

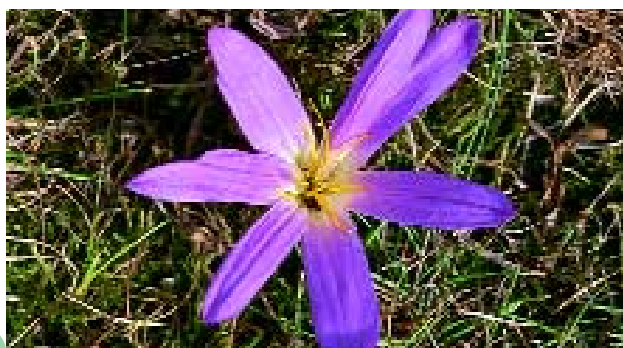


*España cuenta con nuevas tecnologías que permiten la utilización del carbón de manera más eficiente y limpia*

Aunque en la valoración positiva de estas nuevas tecnologías, se incluya de forma específica la minimización de las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno, también es necesario tener en cuenta su capacidad para reducir la emisión de metales pesados y otros contaminantes, sobre los cuales apenas hay normativas específicas en la actualidad.

En el transcurso del tiempo desde que se inició el desarrollo de estas tecnologías ha ido tomando importancia incrementar la eficiencia energética de generación, tanto por su incidencia en los costes de generación, como por su relación con una menor emisión de CO<sub>2</sub>.

### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Azafrán silvestre*



*P.N. Picos de Europa*



*Lagos de Covadonga (Asturias)*

Estas tecnologías se encuentran en niveles diferentes de maduración industrial y su aplicación introduce grados distintos de fiabilidad en las instalaciones resultantes.

## 1. COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDO

La combustión se realiza en el seno de una masa que se mantiene en suspensión mediante una corriente de aire ascensional, la cual fluidifica esa masa y proporciona el comburente necesario para el desarrollo de la propia combustión. La masa en suspensión está formada por las cenizas del combustible, un absorbente mineral, en la mayoría de los casos caliza, y el propio combustible, carbón u otro que participa en pequeña proporción en el lecho, menos del 5% del mismo, lo que hace al proceso bastante flexible frente a la calidad del carbón.

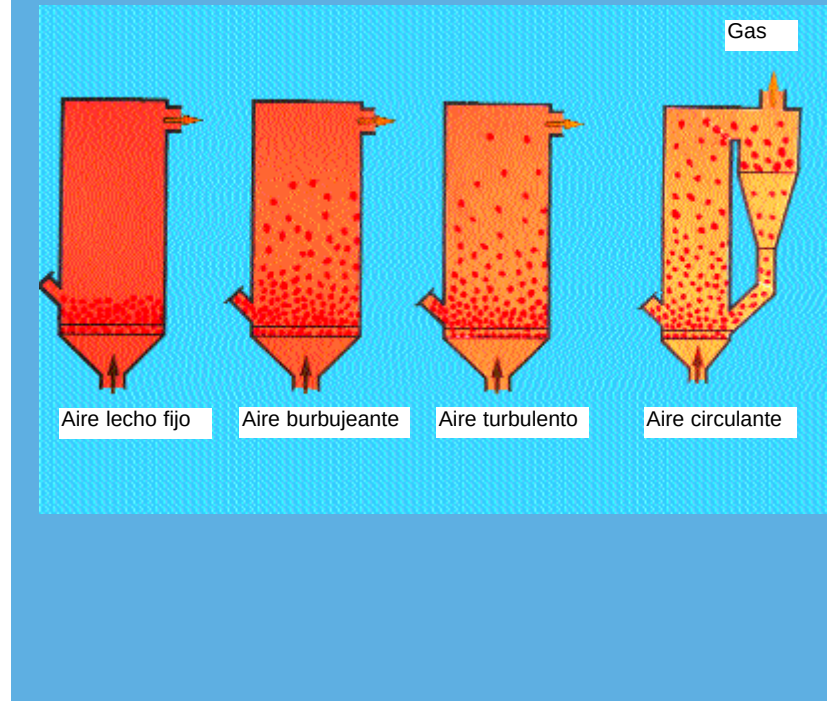
El lecho se mantiene a una temperatura en torno a los 850 °C, lo que facilita dos aspectos positivos frente a las emisiones de contaminantes:

- Retención del azufre del combustible en las cenizas del lecho. El proceso tiene lugar mediante una serie de reacciones que se desarrollan en tal sentido. Se consiguen retenciones de azufre siempre por encima del 90% del contenido en el combustible, en ciertos casos llegando a valores del 98%
- La formación de óxidos de nitrógeno es también baja a esas temperaturas de trabajo. Siempre por debajo de 300 mg/Nm<sup>3</sup> y en varios diseños con menos de 150 mg/Nm<sup>3</sup> como valor de las emisiones en gases.

En este proceso también se pueden retener los compuestos de cloro y de flúor que se desarrollen en la combustión en razón de su presencia en el combustible. Asimismo se reduce la vaporización de metales pesados, también contenidos en el combustible, que se emitirían en los gases de combustión.

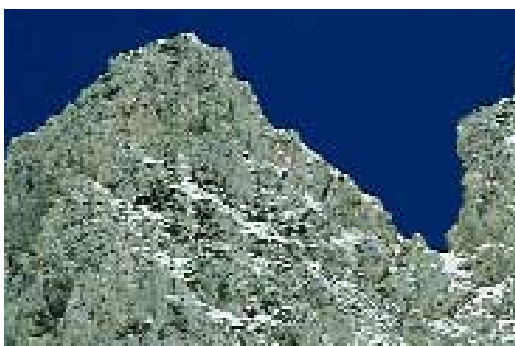
## 2. CALDERAS DE LECHO FLUIDO BURBUJEANTE

En ellas la velocidad del aire de fluidificación es baja, entre 1 y 3 m/s. Esto permite mantener un lecho suspendido propiamente dicho, con una altura de lecho pequeña, en general de menos de 1 m. El carbón se alimenta en granos de menos de 6 mm de tamaño, y la cali-

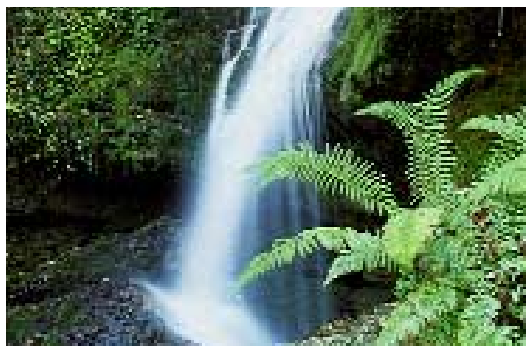


Esquema de los distintos tipos de combustión en lecho fluido

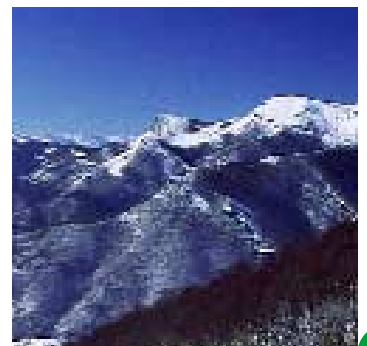
*La combustión en lecho fluido se efectúa a unos 850° C*



Picos de Europa



Cascada en Picos de Europa



Picos de Europa en invierno



## 9. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE

za también se alimenta en granos, pero de menor tamaño que los de carbón. Las cenizas de combustión se extraen por el fondo del lecho y una mínima parte desde el ciclón de primera limpieza de gases.

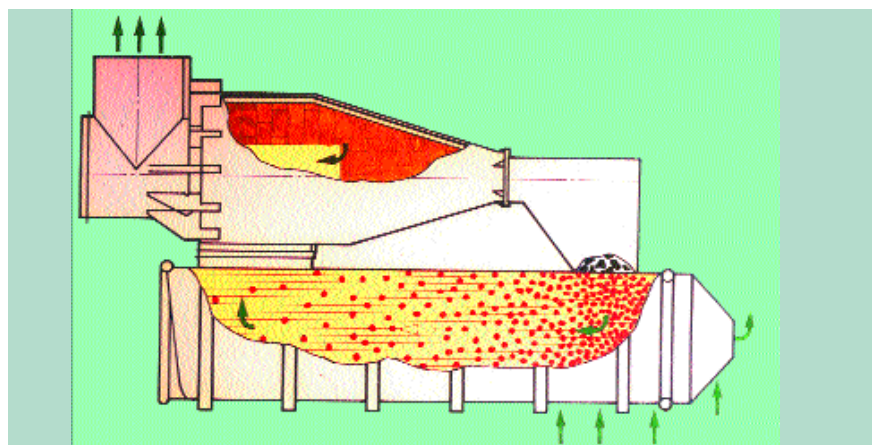
En cambio, la formación de óxidos de nitrógeno no es muy baja, por encima de 200 mg/Nm<sup>3</sup>, llegando a veces a los 300 mg/Nm<sup>3</sup>. Por contra el diseño térmico de estas calderas es muy bueno y los consumos auxiliares se mantienen bajos. Estas calderas se han mostrado adecuadas para quemar carbones de media y buena calidad, con moderado contenido en cenizas y en azufre.

El desarrollo de estos sistemas se ha centrado en EEUU y en Japón. Los buenos resultados obtenidos en plantas de ensayo llevaron a la construcción, a principios de los noventa, de una planta de 170 MWe de potencia, que funciona con carácter comercial a plena satisfacción, quemando un carbón del Medio Oeste de EEUU, de un contenido en azufre del 3% y en cenizas de menos del 15%.

En Japón se construyó en la segunda mitad de los ochenta una instalación de ensayo de 50 MWe de potencia, que funcionaba con carbón de importación de Australia u otros orígenes con bajo contenido en azufre. Las emisiones de óxidos de azufre son bajas y las de óxidos de nitrógeno se reducen a menos de 50 mg/Nm<sup>3</sup>, haciendo pasar los gases de combustión por una planta adicional de limpieza catalítica.

A mediados de la década de los noventa se ha construido una planta comercial, Takehara, de 350 MWe de potencia. El diseño de la caldera ha resuelto la cuestión de la gran superficie de lecho disponiendo éste en dos niveles, contando el superior con un orificio de paso de gases provenientes del lecho inferior. La instalación está funcionando a plena satisfacción, tanto en los parámetros energéticos como ambientales.

*Estados Unidos y Japón están a la cabeza de las nuevas tecnologías para la combustión "limpia" del carbón*



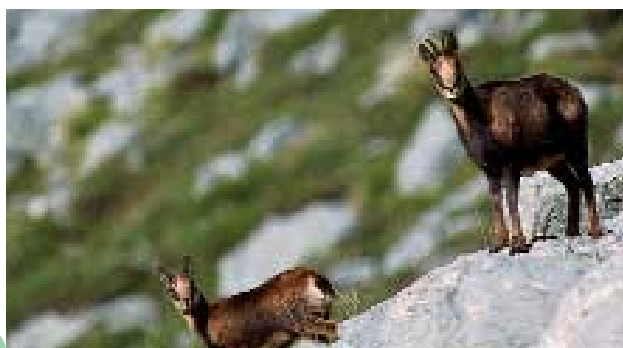
*Prototipo de combustión en lecho fluido circulante*

### 3 CALDERAS DE LECHO FLUIDO CIRCULANTE

En ellas la velocidad del aire de fluidificación es elevada, entre 7 y 15 m/s. El lecho no se mantiene como tal sino que las partículas son arrastradas hasta uno o varios ciclones donde se hace la separación de gas y sólidos.

El carbón y la caliza se alimentan molidos a tamaños inferiores a 1 mm y las cenizas se retiran en parte por el fondo de lecho. La retención de azufre llega a

## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Rebecos*



*Aguila real*



*Collalba gris*

valores de hasta 98%. La recirculación de las partículas de absorbente favorece la fijación del azufre, contribuyendo también el adecuado control de temperatura de lecho a este buen resultado.

La formación de óxidos de nitrógeno es baja, llegando algunas instalaciones a emisiones inferiores a 120 mg/Nm<sup>3</sup>. La razón de ello es la posibilidad de realizar una buena combustión con un bajo exceso de aire, así como el ya citado buen control de temperatura.

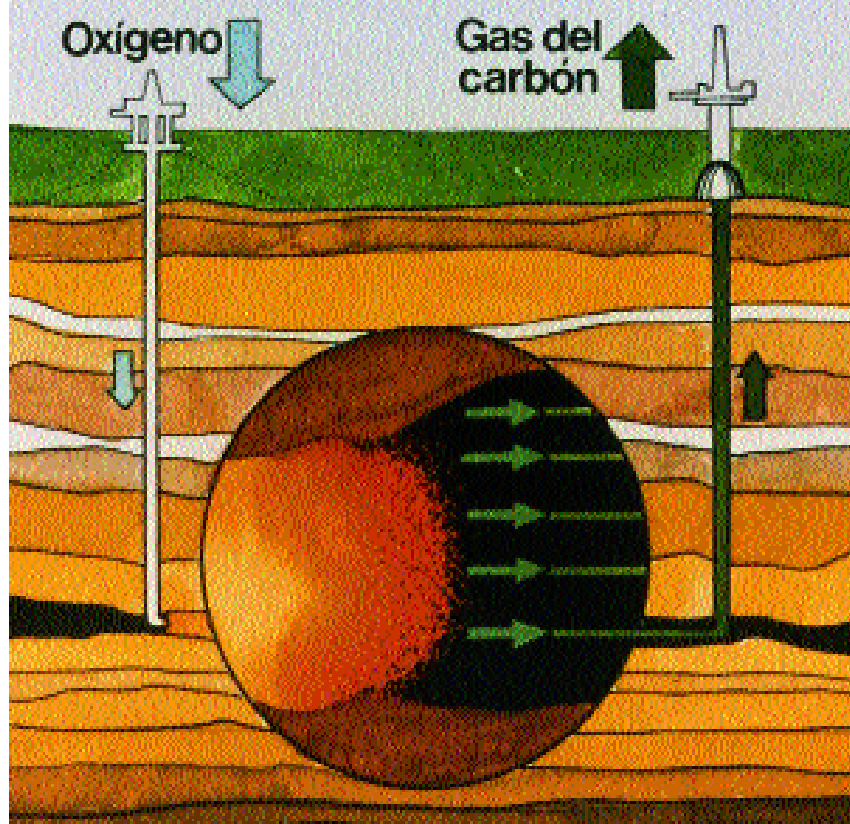
Asimismo este tipo de caldera se ha mostrado muy adecuada para quemar cualquier tipo de combustible, con elevados contenidos en azufre y en cenizas, incluso estériles de lavadero de muy bajo contenido en carbón, pudiendo utilizarse también para quemar fracciones pesadas del petróleo.

Por contra los aspectos de eficiencia energética son menos brillantes. El consumo en servicios auxiliares es elevado, en torno del 10% de la producción bruta de electricidad en la planta; lo que es debido en parte a la necesidad de ventiladores que venzan una pérdida de carga mayor que la correspondiente de las calderas de carbón pulverizado.

Todo ello conlleva el que los rendimientos energéticos en las plantas de generación eléctrica con calderas de lecho fluido circulante, se sitúen en valores por debajo del correspondiente a las instalaciones convencionales. En las instalaciones de lecho fluido circulante el rendimiento resulta alrededor de un 32% referido al poder calorífico inferior.

Estas calderas se pueden considerar ya como una tecnología madura, dirigida más bien hacia las aplicaciones industriales, incluida la cogeneración, en especial quemando combustibles de baja calidad y consecuentemente también de bajo precio. Pueden ser utilizadas en la generación eléctrica de potencia; pero de momento han de utilizarse para grupos de potencia unitaria media o baja.

Se han instalado en el mundo varias centenas de calderas de lecho fluido circulante de diferentes concepciones y diseños. En España se cuenta con una instalación, La Pereda en Asturias, de 50 MWe de potencia que quema carbones residuales de baja calidad, incluyendo los estériles de lavadero acumulados en los valles mineros; en este sentido contribuye claramente a realizar una buena labor ambiental al eliminar estos residuos. La planta funciona con muy buena disponibilidad y parámetros ambientales. Por contra el rendimiento energético es moderado como corresponde a esta tecnología.



*La gasificación del carbón permite un mejor aprovechamiento de los recursos con un menor impacto ambiental*

*En el mundo hay varios centenares de calderas de lecho fluidificado*



*P. Nacional de Sierra Nevada (Granada)*



*Cardo en Sierra Nevada*



*P. Nacional de Sierra Nevada (Granada)*



## 9. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 4. SISTEMAS DE COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDO A PRESIÓN

Se trata de un diseño integrado en el cual la caldera se sitúa en una vasija que se encuentra a presión superior a la atmosférica. Los gases de combustión, una vez limpios de partículas, se expanden en una turbina de gas donde la transformación energética permite el accionamiento del compresor que suministra aire a la caldera y de un generador eléctrico.

Los gases expandidos aun conservan suficiente calor latente que se recupera en un intercambiador donde se precalienta el agua de alimentación de caldera, el economizador.

El vapor producido en la caldera se expansiona en una turbina de vapor donde la transformación energética permite el accionamiento de un segundo generador eléctrico.

El sistema produce la mayor parte de la energía eléctrica en la turbina de vapor, 80% del total, el resto en la turbina de gas. Los consumos en servicios auxiliares se mantienen a nivel de las plantas convencionales, del orden del 5% de la producción bruta de electricidad.

El rendimiento energético del sistema se sitúa en el entorno del 42% referido al poder calorífico inferior, lo cual supone un salto importante frente a los sistemas convencionales de generación eléctrica.

Los gases de combustión se limpian de polvo en parejas de ciclones, primarios y secundarios, que cortan a tamaños inferiores a 5 micras, y las cenizas recogidas en estos ciclones se despresurizan a través de enfriadores de transporte neumático, donde se recupera su calor latente. Parte de estos enfriadores se encuentran fuera de la vasija a presión.

La turbina de gas es un componente importante en este sistema, ya que es la clave para realizar la regulación de carga, las empleadas en la actualidad son de eje partido,

un lado gira a velocidad fija, con los cuerpos de alta presión de turbina y compresor y, el otro lado a velocidad variable, con los cuerpos de baja del compresor y la turbina, según se demande el flujo de aire o varíe el flujo de gas.

En el año 1.991 se puso en operación Escatrón que es la primera planta de demostración en España.

### 5. PLANTA DE DEMOSTRACIÓN DE ESCATRÓN

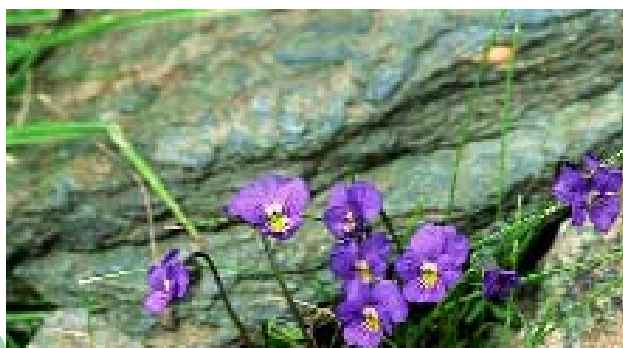
Se concibió como un ensayo para adecuar la tecnología de combustión en

*El lecho fluido a presión mejora el rendimiento energético del sistema*



*Planta de demostración de Escatrón, primera en España de lecho fluido a presión*

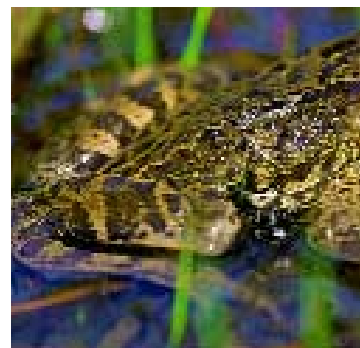
### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Violeta de Sierra Nevada*



*P.N. Posets-Maladetas (Huesca)*



*Rana bermeja*

lecho fluido a presión a la utilización limpia de los lignitos negros de Teruel, una de las mayores reservas de carbón en España, pero que tienen alto contenido en cenizas y en azufre. Para el ensayo se utilizó el grupo nº4 de la central térmica de Escatrón, que ya tenía 30 años de vida cuando se planteó su reconversión. En ésta se recuperó la turbina de vapor y la mayoría de los componentes del ciclo, condensador, líneas de circulación de agua, etc.

La instalación se diseñó para 79 MWe de potencia. El consumo de carbón, en peso y volumen, es elevado debido a su bajo poder calorífico, y asimismo el consumo de caliza es alto, unos 300 kg/t de carbón, en razón del elevado contenido de azufre en el carbón.

El carbón se tritura a menos de 6 mm y la caliza se muele a tamaño de micras. Ambos se mezclan, antes de la inyección, con el fin de reducir la tendencia a la explosividad de este carbón tan reactivo y optimizar la captación del azufre del carbón por la caliza que actúa de absorbente.

La planta se puso en funcionamiento el año 1.991 y se consiguió sobrepasar las 1.300 horas de combustión de carbón en ese primer año; en el segundo se llegó a las 3.500 horas y a partir de ahí se opera a ritmo de unas 5.000 horas anuales.

El mayor éxito de la instalación es su comportamiento ambiental. La retención de azufre en las cenizas ha sido siempre superior al 90%, del orden del 92%, aunque se ha llegado a operar con 95% de retención en circunstancias especiales. Las emisiones de óxidos de nitrógeno se sitúan en 300 mg/Nm<sup>3</sup>; cuando se operaba con menor exceso de aire estas emisiones se situaban en el entorno de 150 mg/Nm<sup>3</sup>.

## 6. GASIFICACIÓN DEL CARBÓN Y OTROS COMBUSTIBLES

La gasificación del carbón es un proceso utilizado industrialmente desde hace décadas para obtener gas de síntesis con el cual producir fertilizantes u otros productos químicos. Se trata de hacer reaccionar el carbón con oxígeno y vapor de agua en una atmósfera reductora lo que da lugar a la formación de CO, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> como gases combustibles, acompañados por otros no combustibles como CO<sub>2</sub>. El azufre del combustible se transforma mayoritariamente en ácido sulfídrico que es un compuesto fácil de retirar del gas combustible. De esta forma se consigue retirar hasta el 99% del azufre del combustible.



*Interior de las instalaciones de la central de Escatrón*

*La gasificación del carbón permite obtener diversos subproductos*



*Pico Aneto*



*Pulvinulo*



*Valle de Benasque (Huesca)*



## 9. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL MEDIO AMBIENTE

### 7. GASIFICACIÓN Y CICLO COMBINADO

El gas combustible procedente de la gasificación, una vez limpio, se puede utilizar como combustible en la turbina de gas de un ciclo combinado con turbina de vapor. El proceso en sí es limpio de emisiones de partículas y compuestos de azufre. Por añadidura, las emisiones de óxidos de nitrógeno pueden ser también bajas si el proceso de combustión en turbina de gas se desarrolla con los adecuados sistemas de reducción de la formación de NOx, por ejemplo inyección de vapor en la cámara de combustión.

Este esquema de generación eléctrica implica un buen rendimiento energético, del orden del 45% referido al poder calorífico inferior, lo que redonda en una menor emisión específica de CO<sub>2</sub> por kWh, valor que se puede reducir si a los gases procedentes de la gasificación se les aplica una etapa de extracción del mismo.

Se trata de un proceso de generación esencialmente limpio, pero que por contra implica un diseño complejo, con un número de subsistemas más numeroso que el correspondiente a las instalaciones convencionales y a las de combustión en lecho fluido a presión.

La inversión específica de una planta de gasificación y ciclo combinado de alto rendimiento energético es elevada. Esto supone el mayor obstáculo para la extensión de la tecnología.

Se han construido varias plantas comerciales en EEUU utilizando procesos diferentes, en las que se ha hecho mayor hincapié en la fiabilidad y en los resultados ambientales que en el rendimiento energético. En Europa se piensa en la utilización de la tecnología de gasificación y ciclo combinado por su alto nivel de limpieza pero también por un esperado buen rendimiento energético. Su aplicación se dirige tanto al carbón como a las fracciones pesadas del petróleo.

*La gasificación del carbón mediante ciclo combinado es un proceso muy "limpio" desde la perspectiva medioambiental*



*La planta de Elcogás, en Puertollano, es un proyecto de alcance europeo*

### 8. PLANTA DE ELCOGAS EN PUERTOLLANO

Es un proyecto de carácter europeo, en el cual participan varias empresas eléctricas de Portugal, Italia, Gran Bretaña, Francia y España, más los fabricantes de los equipos principales. Cuenta con subvenciones de la Comisión de la Unión Europea (Programa THERMIE) y de fondos españoles a la investigación (Programa PIE). Su objetivo es demostrar la viabilidad comercial de los diseños de alto grado de integración y por lo tanto con elevado rendimiento energético.

## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Hojas de abeto*



*P. Nacional de Ordesa (Huesca)*



*Salamandra*

El combustible es la mezcla al 50% en peso de carbón de Puertollano, con alto contenido en cenizas y bajo contenido en azufre, y de cok de petróleo, con alto contenido en azufre y bajo contenido en cenizas. El cok de petróleo es un residuo de refinería que no es fácilmente utilizable como combustible mediante otras tecnologías, siendo por tanto un combustible de difícil utilización. Con esta planta se persigue demostrar que la gasificación es una alternativa de alto interés para la generación eléctrica limpia y eficiente en el futuro.

La instalación se diseñó de forma que el ciclo combinado estuviera disponible en un período de tiempo corto, antes que la propia gasificación. La planta pudo comenzar a generar electricidad en el año 1996 con gas natural como combustible a los dos años de iniciarse el proyecto. Posteriormente, en 1999, comenzó a gasificar carbón y cok de petróleo y desde entonces está en período de explotación comercial.

La tecnología empleada en el proyecto de la Central GICC de ELCOGAS en Puertollano, se ha seleccionado de manera que tenga una consideración especial hacia el medio ambiente, consiguiendo unos niveles de emisiones de contaminantes modélicos dentro del área de generación de energía eléctrica a partir del carbón.

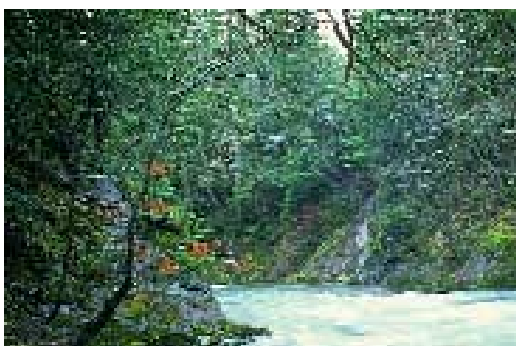
En cuanto a emisiones gaseosas, cabe destacar que se ha logrado una reducción de emisiones ácidas ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) y de partículas a niveles muy inferiores a los valores y límites legislados para las centrales convencionales de carbón. También se ha logrado una reducción del efecto invernadero, con respecto a la generación con carbón, por menor emisión de  $\text{CO}_2$  por kWh generado (debido a la mayor eficiencia energética).

Se ha incorporado tecnología punta para el tratamiento de los efluentes líquidos (ozonización) y se han reducido los residuos sólidos en un 10% -15% con respecto a las centrales de carbón pulverizado, consiguiendo además otros subproductos como azufre con valor comercial.



*La tecnología utilizada en Elcogás, en Puertollano, es muy interesante desde el punto de vista medioambiental*

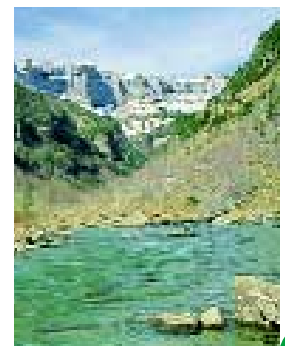
*El proyecto de la central de Puertollano, ELCOGAS, contó con la colaboración de la Unión Europea*



*Valle de hecho (Huesca)*



*Ranúnculo*



*P.N. de Ordesa (Huesca)*



## *Fauna y Flora Españolas*

---



*Valle de Hecho (Huesca)*



*Aguila real*

## **CAPÍTULO 10**

---

# **LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE**

---



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

La utilización de tecnologías de elevado rendimiento energético junto con el uso del gas natural para generación eléctrica, reduce sustancialmente las emisiones específicas de gases contaminantes. En este último grupo de tecnologías se encuentran los sistemas de cogeneración, los ciclos combinados de generación eléctrica con gas natural y las células de combustible.

### 1. COGENERACIÓN

La cogeneración es una tecnología que permite la producción y aprovechamiento combinado de calor y electricidad. Es una forma de aprovechamiento energético con elevado rendimiento utilizada ya desde principios de siglo y constituye una solución atractiva cuando existen necesidades de energía térmica y electricidad de forma prácticamente continua.

*La cogeneración permite aprovechar conjuntamente el calor y la electricidad*

Las instalaciones de cogeneración están diseñadas de forma que el vapor engendrado en la caldera, además de ser enviado a los turbogeneradores para producir electricidad, puede ser extraído en determinados puntos de la turbina -o del escape de la turbina- para suministrar calor a procesos industriales o de otro tipo. En los países nórdicos de climas muy fríos se utiliza el calor para los sistemas de calefacción urbana.

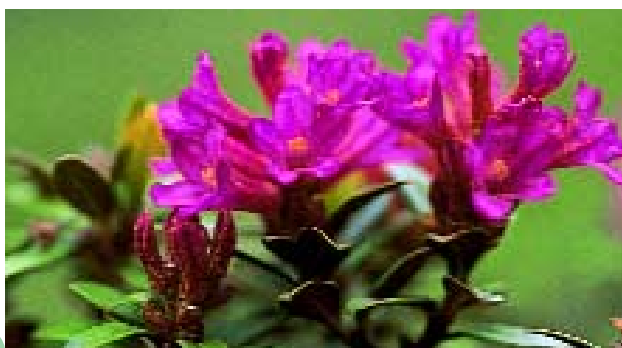
Los sistemas de cogeneración hacen posible la obtención de rendimientos energéticos mayores que los que se conseguirían con producciones separadas de electricidad y calor llegando en algunos casos al 80%, y tienen un menor impacto medioambiental que los procesos convencionales, especialmente aquellas instalaciones de cogeneración que utilizan gas natural como combustible.



*Los edificios inteligentes permiten una más eficiente utilización de la energía*

Existen diversos sistemas de cogeneración según el tipo de turbogeneradores y combustibles que se empleen y de su situación en el proceso productivo, lo cual depende a su vez de los objetivos energéticos que se pretenda conseguir con cada instalación, de la estructura energética de la fábrica en la que se aplican, del horario laboral de ésta, de su nivel de demanda energética, de su disponibilidad de combustibles, etc. Así, hay sistemas de cogeneración basados en ciclos de turbina de gas, ciclos con motor diesel, ciclos con turbina de vapor, ciclos combinados, ciclos

### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Rododendro*



*Gradas de Soaso (Ordesa)*



*Tritón pirenaico*

orgánicos, aprovechamiento de calor residual con turbina de vapor y otros.

La cogeneración con turbina de gas permite maximizar la producción de calor útil frente a la producción eléctrica, permitiendo suministrar la demanda térmica a alta temperatura. Por sus características se utilizan en los sectores de refino, químico y en la fabricación de pasta de papel, que tienen un funcionamiento continuo y elevado de necesidades energéticas en gamas de potencia de 5 a 50 MW, en las que se consigue el mejor rendimiento.

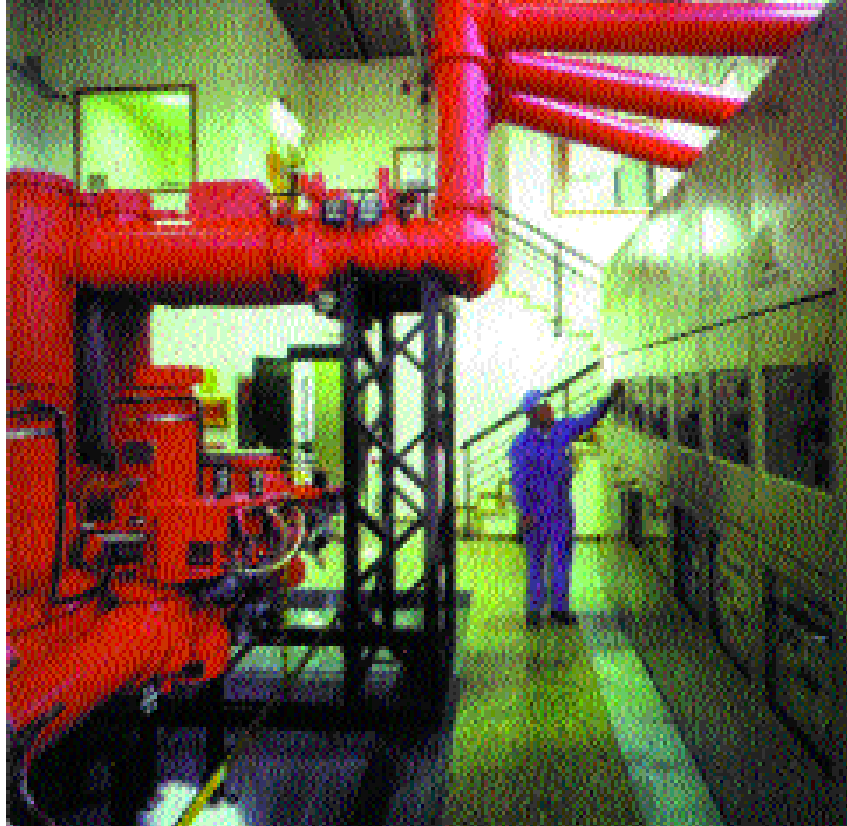
La cogeneración mediante motor alternativo de gas, a gasóleo o fuelóleo es, en general, idónea cuando la demanda térmica es baja frente a la demanda eléctrica. Proporciona vapor y agua caliente a 85-95 °C. Presenta la ventaja frente a las turbinas de que el rendimiento apenas disminuye con el tamaño. Se utilizan habitualmente en sectores con ciclo de funcionamiento diario o semanal, en el sector terciario y servicios, en la industria de la alimentación y en la textil.

La cogeneración con ciclo combinado de gas y vapor permite optimizar el rendimiento de la turbina de gas con la instalación de una turbina de vapor de contrapresión aprovechando la temperatura de los gases de salida de la turbina de gas para producir vapor sobrecalentado a alta presión. De esta forma se consigue mejorar la generación eléctrica por unidad de calor útil.

Otras posibilidades que presenta la cogeneración son la utilización de los gases calientes de escape de la turbina de gas o motor alternativo para el secado o para producción de frío en máquinas de absorción.

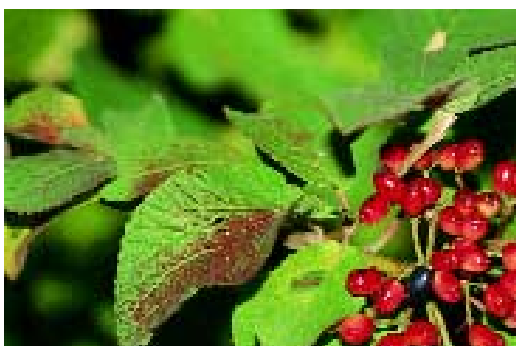
Dentro del contexto de la política energética de la UE -competitividad, seguridad de abastecimiento y protección del medio ambiente- la Comisión Europea emitió en 1997 una Comunicación para facilitar el desarrollo de la cogeneración y su penetración en el mercado europeo de energía como un sistema de ahorro energético y de protección del medio ambiente para la producción de calor y electricidad. Como razones clave se mencionan el cumplimiento de los compromisos de Kioto, el uso eficiente de la energía y la existencia de un gran potencial de aprovechamiento.

Los marcos legal y económico de la cogeneración en España son análogos a los de las energías renovables. Es decir, los sobrantes que vierten a la red eléctrica, operan en el



*Conducciones de calor de una instalación de cogeneración*

*Existen diversos  
sistemas de  
cogeneración*



*Frutos de lantana*



*Marmotas*



*Aguileña*



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

denominado Régimen Especial que se distingue básicamente del Régimen Ordinario en que las instalaciones allí encuadradas no tienen obligación de presentar ofertas en el mercado de electricidad. Esto es, la energía procedente de estas instalaciones se despacha de forma prioritaria con respecto al resto de instalaciones, lo cual supone una ventaja operativa muy clara en un mercado de generación liberalizado y competitivo.

Asimismo, la remuneración de las instalaciones en régimen ordinario y en régimen especial se diferencian en que estas últimas percibirán, además, una prima cuyo importe se fija reglamentariamente con la actualización de las tarifas eléctricas.

En España había ya en el año 1994 más de un centenar de instalaciones de cogeneración en funcionamiento, con una potencia total de 1.573 MW, la mayor parte de las cuales eran propiedad de los autogeneradores. En el año 1999 la potencia instalada era ya de 4.405 MW, con un porcentaje de un 11,7% de la producción total eléctrica. Esto ha supuesto 16.856 GWh de excedentes de electricidad vertidos a la red en este año.

*Actualmente en España está prevista la instalación de centrales de ciclo combinado de gas natural*

Teniendo en cuenta la política energética de la UE sobre este tipo de instalaciones, así como la incentivación que tiene en nuestro marco normativo y económico, es de prever que en España siga aumentando en los próximos años el número de instalaciones de cogeneración.

Sus ventajas medioambientales, asociadas a un mayor rendimiento, no deben enmascarar el hecho de que las emisiones específicas por kWh generado no son inferiores, en el mejor de los casos, a las de una central térmica de gas natural de ciclo combinado. Por otra parte, actualmente, las instalaciones de cogeneración no están sujetas a la vigilancia y medida en continuo de sus emisiones atmosféricas de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas, que por obligación legal se realiza en las centrales térmicas de carbón, fuel y gas.



*Esquema general de una central de ciclo combinado de gas natural*

### 2. CICLOS COMBINADOS DE GAS NATURAL

El proceso de producción de energía eléctrica en un ciclo combinado se basa en la transformación de la energía térmica del combustible en electricidad mediante la combinación o superposición de dos ciclos: el ciclo Brayton (turbina de gas) y el ciclo Rankine (ciclo agua/vapor).

El compresor de aire, arrastrado por la

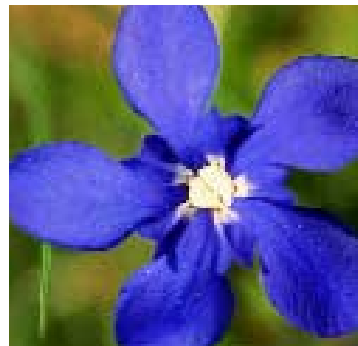
## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



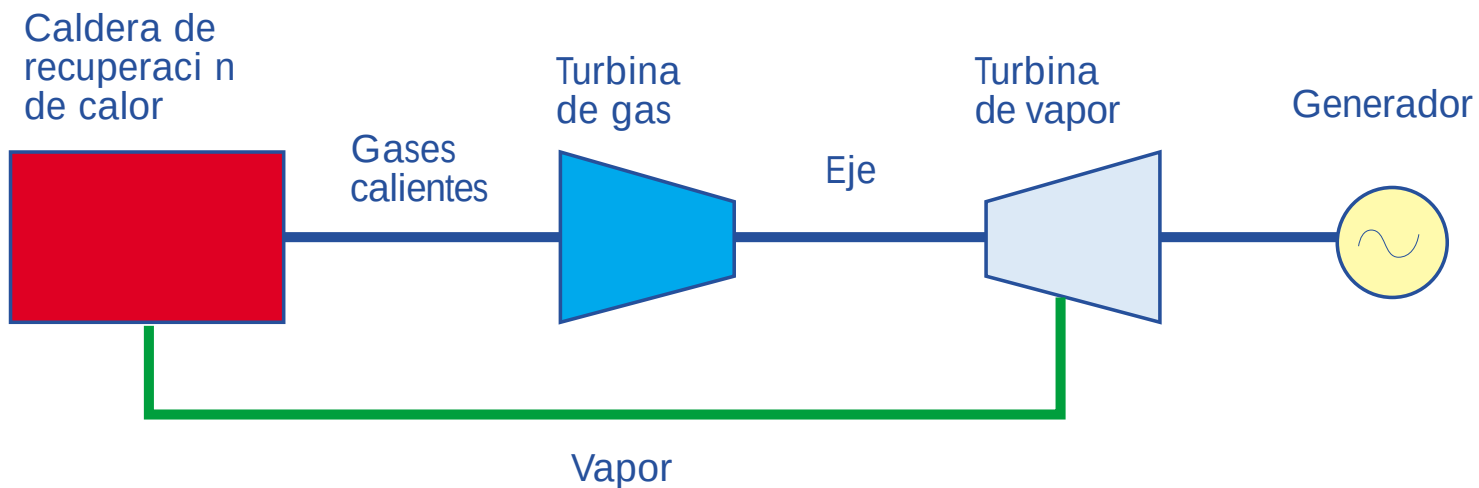
*Narcisos*



*Siempreviva*



*Genciana azul*



*Esquema de funcionamiento de una central de ciclo combinado*

turbina de gas, comprime el aire de combustión hasta 14/18 bares, que mediante la combustión del gas natural, alcanza una temperatura de 1200/1300 ° C. La posterior expansión de los gases de combustión en la turbina de gas hasta la presión atmosférica, es empleada para el accionamiento del compresor de aire y el alternador, que generará la energía eléctrica de la planta. Los gases de escape de la turbina de gas alcanzan temperaturas de 550/600°C, lo que permite su aprovechamiento en una caldera de recuperación de calor para la generación de vapor que, mediante su expansión en la correspondiente turbina, permite el accionamiento del alternador.

Este esquema relativamente sencillo precisa una serie de sistemas auxiliares para su operación en continuo, que hacen compleja la instalación.

La disposición de la turbina de gas y de vapor puede ser agrupada en un único eje con un alternador común o en dos trenes separados en los que cada máquina acciona su correspondiente alternador. Las ventajas e inconvenientes de ambas disposiciones son diversas, aunque actualmente comienzan a extenderse los proyectos de eje único estandarizados.

A continuación se describen brevemente los tres equipos principales de un ciclo combinado:

**La Turbina de Gas:** Prácticamente las configuraciones de todos los fabricantes que existen actualmente en el mercado se han uniformizado: el compresor y la turbina están rígida-

*Un ciclo combinado funciona con tres equipos principales: caldera de recuperación de calor, turbina de gas y turbina de vapor*



*Flora de Gredos*



*Sierra de Gredos (Ávila)*



*Manzanilla de Gredos*



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

mente unidos por un único eje, girando a la velocidad de sincronismo de la red eléctrica, sin necesidad de acoplamiento intermedio. El compresor, arrastrado por la turbina de gas, toma el aire del exterior a través del correspondiente filtro. Todo el conjunto incorpora medidas de atenuación acústica. A fin de mantener la operación a baja carga, la primera etapa del compresor está dotada de álabes móviles y el conjunto dispone de las correspondientes extracciones de aire, que se empleará en la refrigeración de la turbina.

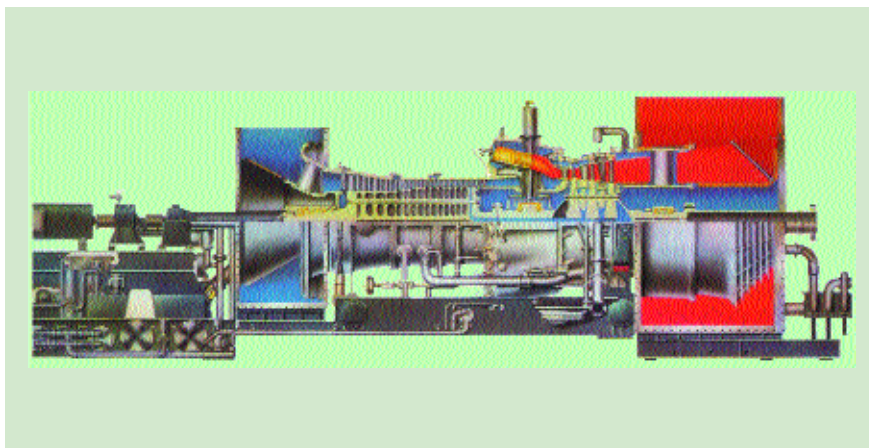
Las cámaras de combustión son múltiples y están dispuestas anularmente alrededor de la turbina. Mediante el empleo de quemadores secos se alcanzan las condiciones de emisiones de NO<sub>x</sub> y CO requeridas por la legislación, sin necesidad de equipos adicionales. Únicamente en el empleo de combustibles diferentes al gas natural es necesario recurrir a la inyección de agua o vapor para mantener el nivel de emisiones dentro de rangos aceptables.

*El desarrollo tecnológico de la turbina de gas ha sido fundamental en la comercialización de las centrales de ciclo combinado*

La combustión del gas natural permite alcanzar elevadas temperaturas, lo que obliga, a pesar del empleo de materiales especiales, al uso de refrigeración que evite un rápido desgaste de los elementos sometidos a estas temperaturas. Tras la expansión hasta la presión atmosférica, los gases son conducidos a través del correspondiente difusor hasta la caldera de recuperación.

*La Caldera de Recuperación:* Actualmente se realiza con generación de vapor en tres niveles de presión y recalentamiento. Las calderas pueden ser de diseño horizontal o vertical. En el primer caso se trata de calderas de circulación natural, mientras que en el caso del diseño vertical, lo habitual es la circulación forzada aunque también pueden encontrarse calderas verticales con circulación natural.

*La Turbina de Vapor* suele ser de tres cuerpos. Se trata de máquinas convencionales, las cuales han alcanzado una madurez en su diseño, y que deben adaptarse a las condiciones locales en cuanto a presión de escape y caudal de vapor disponible. Las variantes que se emplean son las llamadas de "acción" o "reacción", según se realice la expansión del vapor.



*Corte transversal de una turbina de gas*

El gran avance conseguido por la tecnología de ciclo combinado puede atribuirse, en esencia, a los siguientes factores:

- Mejora de las turbinas de gas debido a avances tecnológicos y de materiales.
- Concesión de licencias y plazos de construcción más cortos, tanto por el menor impacto ambiental como por la modularidad en su fabricación.

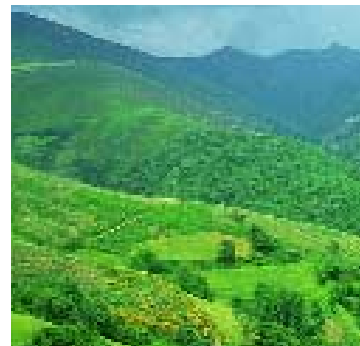
### Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Sierra de Gredos (Ávila)*



*Orquídeas en Los Ancares (Lugo-León)*



*Sierra de Ancares (Lugo-León)*

- Máximos niveles de rendimiento.

- Alta flexibilidad operacional que permite desde el funcionamiento continuo con carga base, hasta la operación en dos turnos diarios, con parada nocturna.

- Máxima rapidez de amortización de las instalaciones, gracias a los menores costes de inversión y explotación.

- Aumento de las reservas mundiales aseguradas de gas natural, y con ello un nivel de precios suficientemente estable, incluso para países en vías de industrialización.

- Cambios en las estructuras organizativas de los mercados eléctricos en muchos países, debido a la privatización y a la aparición de productores independientes de energía eléctrica.



*Conducciones de hidrocarburos para una central térmica mixta de fuel y gas*

Si bien se han alcanzado rendimientos muy altos, superiores al 58% en algunos fabricantes, se está próximo sin embargo al límite económico. Si se compara el aumento potencial de eficiencia con el esfuerzo necesario para conseguir ese aumento, se advierte que, con el ciclo Brayton/Rankine considerado y los actuales precios de combustible, la rentabilidad de los proyectos aumenta hasta un valor de la eficiencia neta de alrededor del 60%, en la mayoría de las áreas geográficas. Cualquier aumento de eficiencia por encima de ese nivel entraña unos costes adicionales de la planta y unos riesgos difíciles de asumir en la actualidad.

A la vista de sus ventajas, no es de extrañar que estas instalaciones sean los principales protagonistas de la nueva capacidad instalada en el mundo. Las previsiones para los próximos años apuntan a un incremento notable en los pedidos de nuevas centrales de ciclo combinado.

Además de los aspectos puramente económicos de su explotación, un punto clave de las centrales de ciclo combinado es su bajo impacto medioambiental. Dos son las causas fundamentales para ello:

- En primer lugar, el incremento de eficiencia, que al reducir hasta un 40% la cantidad de combustible necesaria para generar un kWh, reduce en igual proporción la cantidad de sustancias contaminantes emitidas en la atmósfera. Esto cobra especial relevancia en el caso del CO<sub>2</sub> inherente a toda combustión, cuya producción se ve sensiblemente reducida cuando se utiliza la tecnología de ciclo combinado.

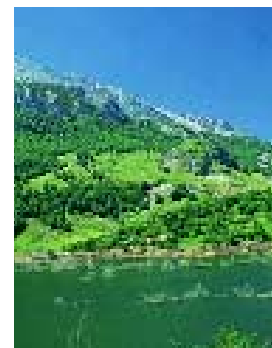
*Las instalaciones de ciclo combinado serán también protagonistas en numerosos países de nuestro entorno*



*Sierra de Ancares (Lugo-León)*



*Sierra de Ancares (Lugo-León)*



*Embalse de Riaño (León)*



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

- En segundo lugar las propias características del gas natural. A este respecto se hace referencia a los principales contaminantes,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  y compuestos orgánicos volátiles (COV).

Así, el comportamiento de estos parámetros se puede describir de la siguiente forma:

-  $\text{SO}_2$  : Los factores de emisión de  $\text{SO}_2$  en la combustión de gas natural son inferiores respecto de los combustibles líquidos en un rango que oscila entre las 760 veces para el fuelóleo y 60 veces para el gasóleo.

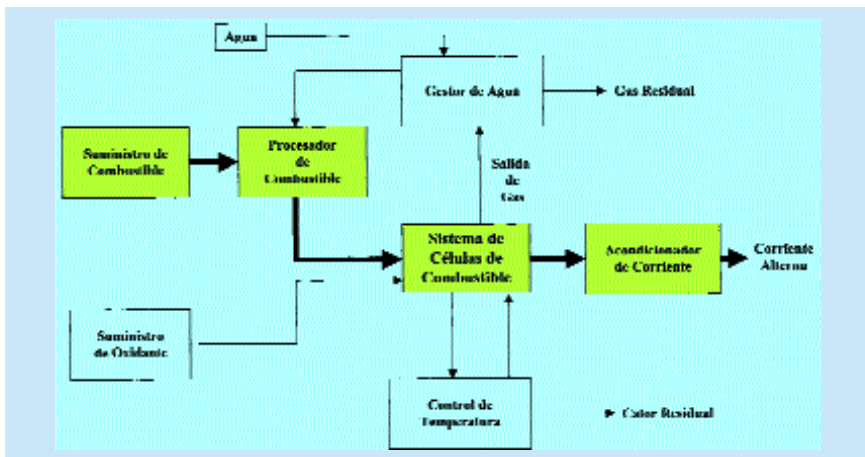
-  $\text{NO}_x$  : La emisión de óxido de nitrógeno no puede deducirse directamente de la composición de los combustibles dada la complejidad de los mecanismos de oxidación. Sin embargo en procesos térmicos los factores de emisión de  $\text{NO}_x$  con gas natural son inferiores al de otros combustibles en un rango que oscila entre el 30 y el 70%. La tecnología de ciclo combinado actúa en este sentido al reducir la cantidad de combustible utilizado.

-  $\text{CO}$  : La utilización de tecnología de ciclo combinado, con un rendimiento mucho mayor, permite reducir la cantidad de combustible utilizado, rebajándose las emisiones de  $\text{CO}$  en consecuencia.

-  $\text{CH}_4$  : El metano  $\text{CH}_4$  no siendo un gas tóxico, contribuye al efecto invernadero. En su combustión el gas natural genera una cantidad de metano inferior a la de los combustibles sólidos. Además, en procesos de ciclo combinado la emisión de metano se ve reducida por el menor aporte de combustible.

- COV : En procesos de combustión, la emisión de este tipo de contaminantes es prácticamente despreciable para todos los combustibles.

*Una célula de combustible convierte directamente la energía química en electricidad y calor*

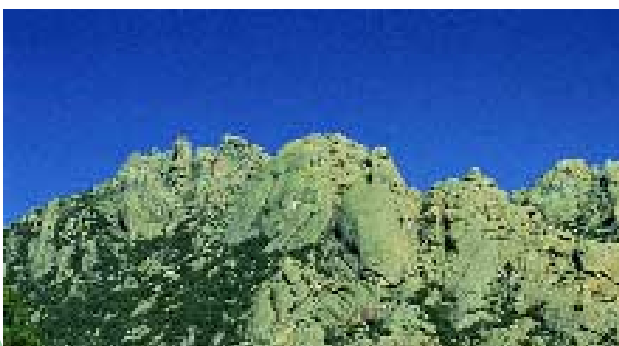


Esquema general simplificado de una planta de generación eléctrica con células de combustible

### 3. CÉLULAS DE COMBUSTIBLE

Una célula de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en electricidad y calor. Consta de dos electrodos, el ánodo y el cátodo, separados por un electrolito en forma de sandwich. Los tipos de células de combustible se caracterizan típicamente por su electrolito. En las células de combustible se combina el oxígeno del aire con el hidrógeno para generar la corriente eléctrica continua. El combustible oxidado en el ánodo, libera

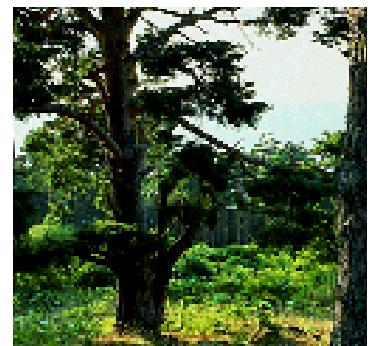
## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



La Pedriza (Madrid)



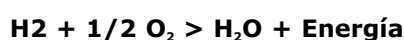
Valle del Páular (Madrid)



Valle de Lozoya (Madrid)

electrones que fluyen por el circuito externo hasta el cátodo. El circuito se completa con el flujo de iones en el electrolito, que además separa las dos corrientes de gases, combustible y oxidante. El calor generado puede emplearse directamente como un subproducto en el procesador del combustible o para producir residualmente más electricidad. Las celdas se apilan y se conectan en serie o en paralelo para suministrar el voltaje y potencias deseados, motivo por el cual se las conoce también con el nombre de pilas de combustible.

En una celda de combustible se produce la reacción genérica de combustión de hidrógeno y la formación de agua por vía electroquímica (reacción inversa a la electrólisis del agua)



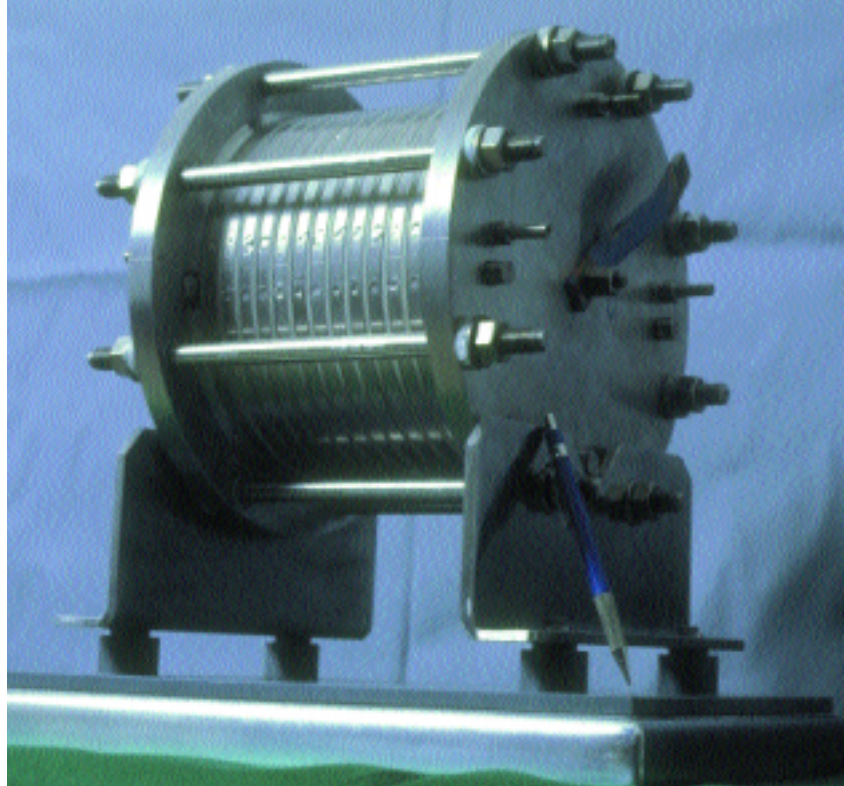
Según sea el electrolito utilizado así serán los electrodos que se empleen y las condiciones de operación de las celdas. Con independencia de las características particulares de cada caso, la separación entre electrodos y su superficie van a determinar el voltaje de celda y la energía producida. La estructura íntima de los electrodos, el electrolito, las dimensiones geométricas, las condiciones termodinámicas de operación y las características de los reactantes van a influir en el proceso.

El calor generado en la reacción electroquímica así como el liberado por efecto Joule por el movimiento de los iones en el electrolito debe extraerse con sistemas complementarios a la salida de gases, por lo que las celdas deben llevar incorporado un sistema de refrigeración, que normalmente se instala cada cierto número de ellas.

Un sistema de generación basado en células de combustible consta genéricamente de un procesador de combustible que permite obtener el hidrógeno necesario como combustible principal. Este procesador sería innecesario en el caso de las células de combustible de hidrógeno o de metanol directo. A continuación se acopla la sección de generación eléctrica, formada por las células de combustible y los dispositivos de alimentación, recirculación, extracción del calor, de la corriente eléctrica y de los productos de reacción. Finalmente es necesario un sistema de acondicionamiento eléctrico para la conversión de la corriente continua producida en la corriente alterna necesaria para su acoplamiento a la red.

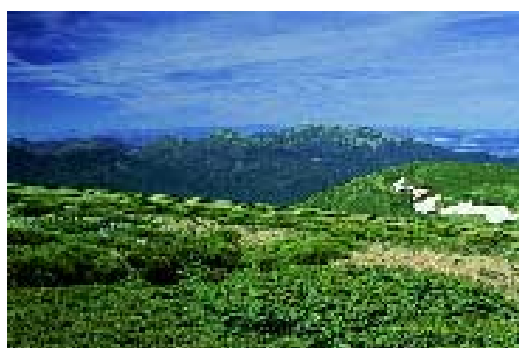
### 3.1. Características tecnológicas.

Los diferentes tipos de células de combustible comparten propiedades y características



*Prototipo de una pila de combustible*

*La modularidad es una característica muy importante en las células de combustible*



*P, Nacional de Peñalara (Madrid)*



*Pinares de Valsaín (Segovia)*



*Pino silvestre*



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

constructivas comunes, como son:

- Modularidad. Las unidades pueden construirse tan pequeñas como se quiera y el sistema puede ensamblarse hasta el tamaño deseado a base de estas unidades. Las condiciones de operación, flexibilidad y costes de los equipos auxiliares pueden ser los factores gobernantes del tamaño óptimo de los módulos que se produjesen en fábrica. La eficiencia y el coste por kilovatio son independientes del tamaño de los módulos. La economía de escala de las grandes plantas puede compensarse por la economía de fabricación de series de unidades pequeñas que sean fácilmente transportables.
- Tiempo de construcción. Las instalaciones serán idealmente repetitivas y por tanto la preparación del terreno se puede estandarizar, permitiendo bajos costes de instalación y cambios regulares con facilidad y rapidez. El tiempo de fabricación dependerá de la experiencia y conocimientos acumulados.
- Factor de carga. Con las células de combustible se pueden esperar factores de carga alrededor del 90%.
- Generación de corriente continua. Las células de combustible son generadoras de corriente continua; dada la gran cantidad de equipamiento electrónico que se utiliza actualmente funcionando con corriente continua puede ser una importante ventaja con miras al futuro
- Ausencia de ruido. Otra gran ventaja de las células de combustible es su propiedad de funcionar sin producir ruido por la ausencia de componentes dinámicos en su interior. Los únicos ruidos producidos serán lo que se produzcan en los componentes auxiliares, lo que las capacita para su utilización en edificios y zonas habitables.

*Hay diversos tipos de células combustibles con características básicas comunes*



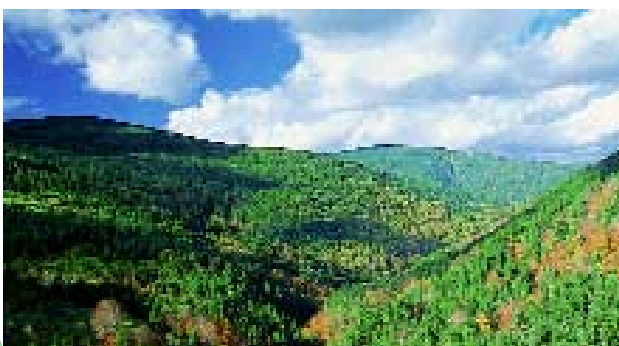
*Las pilas de combustible serán apropiadas para el abastecimiento eléctrico de grandes poblaciones, dada su baja contaminación y ausencia de ruidos*

- Sistemas híbridos. El mercado potencial de las células de combustible se puede incrementar combinándolas con otros equipos de generación energética como son las turbinas de gas y vapor, para el caso de las células de alta temperatura y con motores de combustión interna y baterías en el caso de las de baja temperatura.

### 3.2 Tipos de células de combustible.

Aunque la reacción electroquímica de oxidación del hidrógeno para la producción de electricidad es conocida desde que en 1839, su puesta en práctica no ha llegado hasta la década de

## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Sierra Cebollera (La Rioja)*



*Sierra de Urbión (Soria)*



*Sierra de Alcaráz (Albacete)*

los 60, debido a la gran dificultad existente para encontrar unos sistemas que garantizaran el proceso con una cierta viabilidad técnica y económica. Como fruto de este desarrollo se han promovido varios tipos de pilas de combustible, que en el momento presente pueden ofrecer distintas opciones comerciales. Las diferencias esenciales entre los distintos tipos se deben al electrolito empleado, que obliga a diferentes materiales para los electrodos y por supuesto a diferentes condiciones de operación, lo que finalmente se traduce en diferentes posibilidades de utilización.

### **Alcalinas.**

Han sido las primeras en desarrollarse y emplearse en los años 60 dentro del proyecto espacial Apolo. Emplean como electrolito hidróxido potásico. Necesitan como combustible hidrógeno muy puro, lo mismo que el oxidante, que es oxígeno de alto grado de pureza, con niveles de  $\text{CO}_2$  inferiores a 50 ppm para evitar la carbonatación del electrolito. Emplean electrodos diversos a base de materiales nobles fundamentalmente.

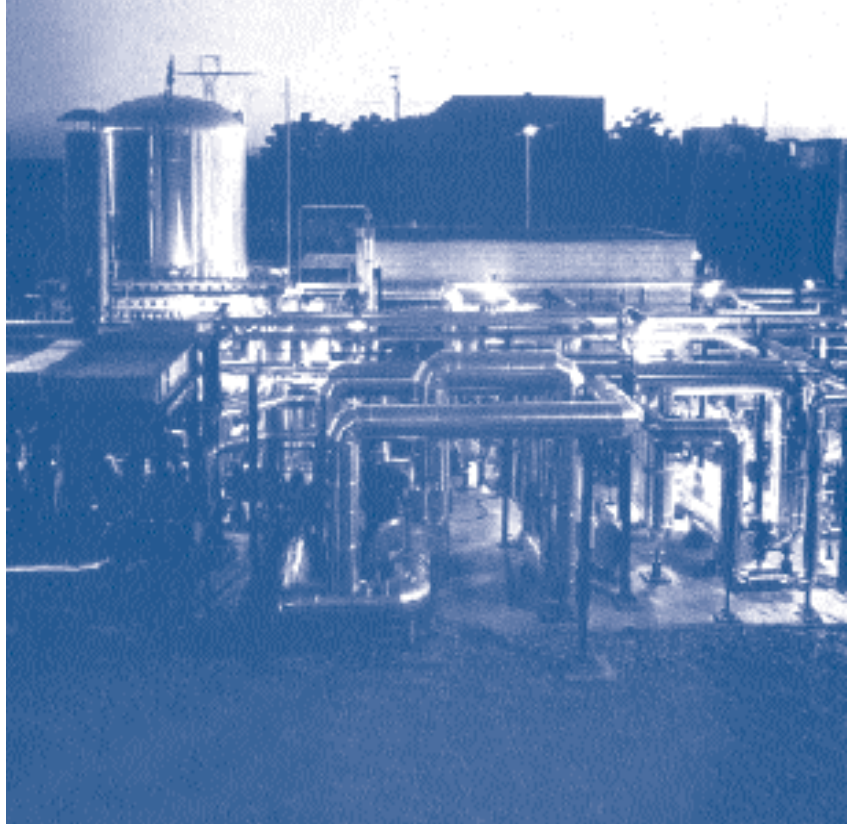
### **Ácido fosfórico.**

Se escoge el ácido fosfórico por su baja presión de vapor a la temperatura de operación de  $190^\circ\text{C}$ . Esta célula de combustible es un ensamblaje de electrodos de carbón poroso, dopado con platino como catalizador con capas de electrolito interpuestas y una placa bipolar de grafito que une el cátodo con el ánodo de la célula adyacente. Se requiere un catalizador de platino para mejorar la cinética de la reacción que es baja a la temperatura de operación.

La mayoría de las plantas suministradas de este tipo son unidades de pequeña escala (menores de 1 MWe.) para su empleo en cogeneración conteniendo los demás componentes en un solo paquete. La eficacia energética es de 40-50% dependiendo de la configuración de la planta con niveles de emisiones de 0,49-0,44 Kg. de  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  cuando se alimentan con gas natural. Su baja contaminación y ausencia de ruidos las hacen apropiadas para grandes poblaciones.

### **Carbonatos fundidos.**

A partir de los  $490^\circ\text{C}$  los carbonatos funden, por lo que se emplea como electrolito una



*Planta de carbonatos fundidos de San Agustín de Guadalix*

*Cada tipo de célula combustible ofrece diferentes opciones comerciales*



*Azafrán bravo*



*Sierra de alcaráz (Albacete)*



*Marmota*



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

mezcla de carbonato de litio y carbonato potásico, a veces con adiciones de carbonato sódico y de metales alcalinotérreos. Este electrolito se inmoviliza en un polvo cerámico en forma de baldosas o matriz de aluminato de litio.

### Óxidos sólidos.

El electrolito es un óxido de circonio sólido estabilizado con ytria que conduce aniones oxígeno a altas temperaturas. El ánodo es un material compuesto (cerámico-metálico) poroso de óxido de níquel y circonio, estabilizado con ytria, mientras que el cátodo es un mangano de lantano dopado con estroncio. Se necesita una capa bipolar separadora de cromito de lantano dopado. Es decir son todos ellos componentes sólidos de pequeños espesores

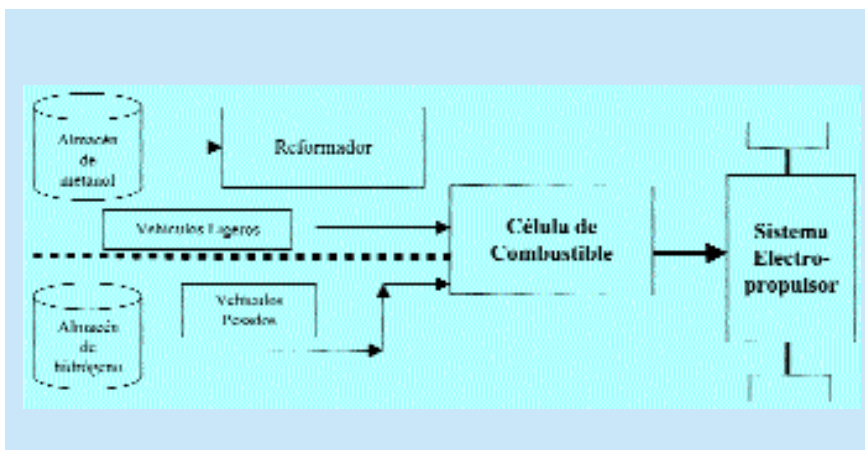
### Membrana de polímero sólido.

También se las conoce como células de Membrana de intercambio protónico y son las que tienen mayor densidad de energía de todas. Dado que la membrana es relativamente inestable al calor, la temperatura de operación debe mantenerse por debajo de 100°C y consecuentemente necesitan buenas propiedades catalíticas en los electrodos que son generalmente de metales preciosos. Los electrodos están separados por un electrolito de ácido sulfónico fluorado. El hecho de tener una temperatura de operación inferior a los 100°C ofrece una esperanza de vida alta, que depende sobre todo de la vida de la membrana. Estas células operan a presión para disminuir la densidad energética.

### Metanol directo.

Este tipo de células está sufriendo un renacimiento como consecuencia de las mejoras considerables en los últimos años de su densidad de corriente. Son células de baja temperatura

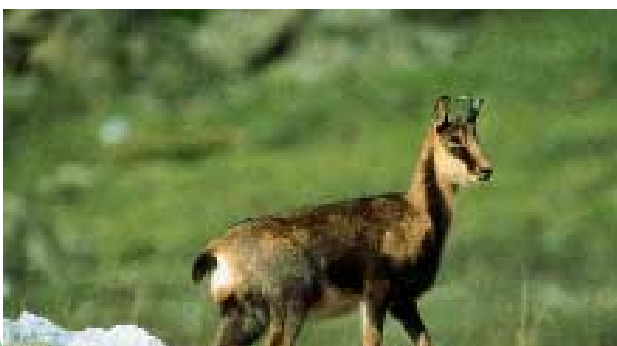
hasta 130°C, que emplean metanol líquido o gaseoso según la temperatura y que trabajan a presiones relativamente bajas. Históricamente han empleado como electrolito ácido sulfúrico pero en la actualidad se están orientando a electrolitos poliméricos y por lo tanto a temperaturas más bajas. Se emplea un catalizador de alta carga de platino en el ánodo para alcanzar densidades de potencia relativamente bajas. En el cátodo el material más común es platino negro



Esquema simplificado de un sistema de células de combustible con alimentación de metanol o hidrógeno directamente

### 3.3 Aplicaciones de las células de combustible.

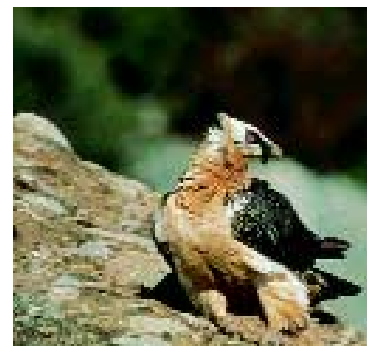
## Fauna y Flora Españolas Alta montaña



Rebeco



Roquero rojo



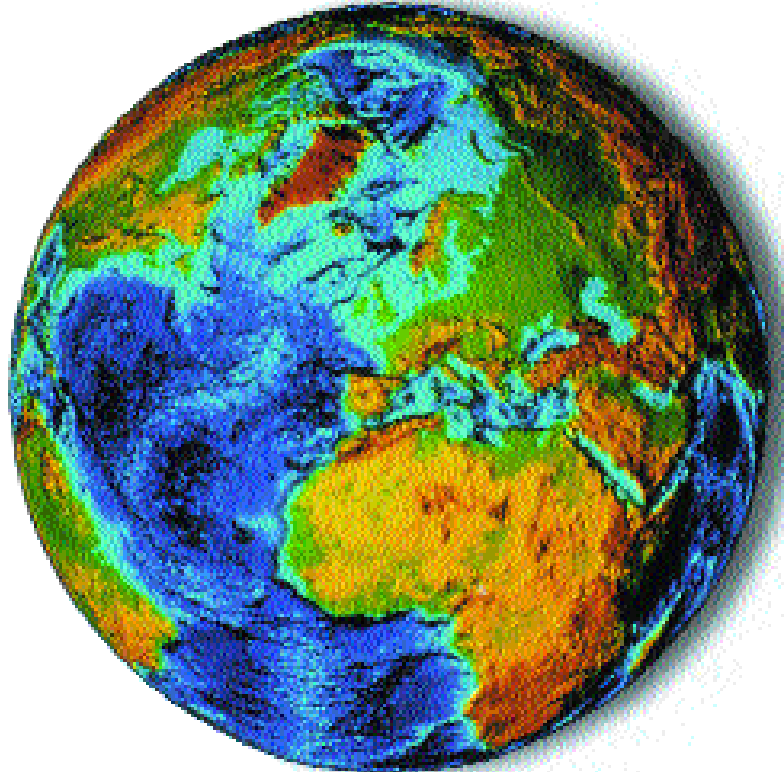
Quebrantahuesos

Los distintos diseños conceptuales de las células de combustible determinan su aplicación potencial. El parámetro determinante para su utilización es la temperatura y el otro factor determinante es el combustible empleado. Al ser sistemas en desarrollo, su grado de avance define el interés de esa aplicación y por otro lado la dificultad tecnológica que se presenta para llegar a ella. Teniendo en cuenta que el combustible básico es el hidrógeno, el futuro de las células de combustible va a estar directamente relacionado con las distintas fuentes y tecnologías de producción de este gas, pero pasando por una transición de adaptación a las fuentes energéticas en uso.

En la actualidad se vislumbra su aplicación en plantas para generación centralizada de electricidad, sistemas de cogeneración de tamaño intermedio y sistemas de baja potencia para uso doméstico o transporte.

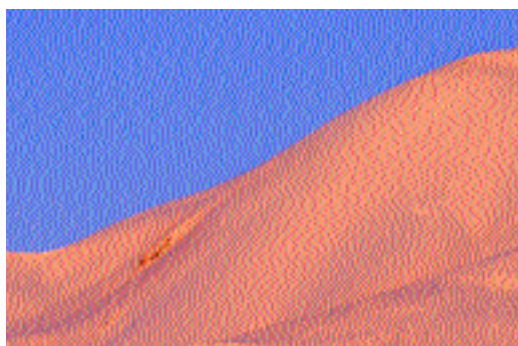
Se puede afirmar por tanto que las células de combustible no son todavía una tecnología madura. Para que lleguen a tener un mayor impacto en el mercado energético futuro se requiere innovación en el diseño y en los materiales. La tecnología actual de producción de hidrógeno es poco eficiente, ya que requiere el empleo de combustibles fósiles. Cuando se disponga de hidrógeno, el 60-80% del coste de una planta de células de combustible se eliminará y se colocarán en situación competitiva. Sin embargo, sus aplicaciones están restringidas por el suministro de materiales, como el catalizador de platino. Aún pensando que los costes por KW pueden reducirse a niveles aceptables, la disponibilidad de estos materiales restringirá la tecnología de las células de combustible a nichos de mercado. Se requiere por tanto innovación en materiales, particularmente nuevos catalizadores y nuevos electrolitos, quizá de tipo sólido, que puedan operar en rangos de temperatura que son inviables para las células de combustible actuales. Un impulso en este área puede aún permitir el uso directo de combustibles carbonosos.

En España la tecnología está centrada en los carbonatos fundidos con una promoción importante desde el sector eléctrico a través de una Agrupación de Interés Económico denominada Programa Español de Pilas de Combustible, constituida por IBERDROLA, ENDESA y BABCOCK&WILCOX e integrada en el proyecto europeo MOLCARE (Molten Carbonate Research) junto con Ansaldo (Italia). Esta actividad en carbonatos fundidos tiene como fin el desarrollo y pruebas de elementos componentes y prototipos para alcanzar finalmente el ensayo y demostración de una célula de 100 KW en la planta construida en San Agustín de Guadalix (Madrid). Esta actividad está incluida dentro de los proyectos



*Hermanar en el mundo el progreso y la protección del medio ambiente es una tarea de todos*

*El impacto de las células combustibles sobre el medio ambiente es reducido*



Pirineo de Lérida



Cuervo



Pinos resinosos



## 10. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ELEVADO RENDIMIENTO ENERGÉTICO Y EL MEDIO AMBIENTE

europeos JOULE y THERMIE con la financiación nacional del Programa de Investigación y Desarrollo Electrotécnico (PIE) y del Programa de I+D de OCICARBÓN.

### 3.4 Aspectos medioambientales

El impacto de los sistemas de células de combustible sobre el medio ambiente es reducido. Son sistemas que emplean procesos catalíticos que requieren un combustible limpio para que el reformado o las reacciones anódicas funcionen correctamente. Además, como funcionan a temperaturas menores que los equipos termomecánicos, generan menores cantidades de NOX. No obstante uno de los objetivos tecnológicos actuales en el desarrollo de las células de combustible es reducir aún más las emisiones de NOx en los procesos de acondicionamiento de los gases de alimentación, pasando de las 20 ppm a 1-5 ppm.

En lo referente al azufre, los reformadores ya requieren su eliminación previa. Este azufre puede eliminarse por varias técnicas, por ejemplo, hidrodesulfurización.

*A medio y largo plazo las células de combustible serán sistemas de generación eléctrica muy competitivos*

Puesto que el proceso que tiene lugar en una célula de combustible es una reacción electroquímica no existe ninguna parte móvil y por tanto reduce el ruido en la generación energética. No obstante las plantas requieren soplantes, bombas y otros equipos auxiliares, pero en conjunto su funcionamiento es mucho más silencioso que otras plantas de generación. La parte más ruidosa de una planta de células de combustible son los turbo compresores. Esta cualidad de las células de combustible las hace idóneas para núcleos urbanos tanto en generación de energía como en transporte.

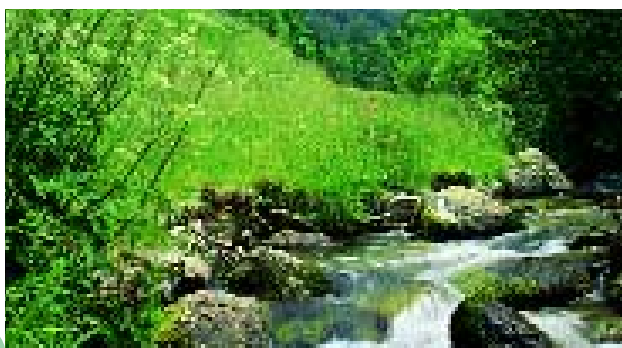
Puesto que las células de combustible son generalmente más eficientes que los sistemas que utilizan el ciclo de Carnot, especialmente en unidades pequeñas, producen en general mucho menos calor residual, siendo éste aproximadamente la mitad de las plantas actuales, lo que conduce a un menor consumo de agua de refrigeración.

En lo referente a la contaminación visual no habría inconveniente para situar este tipo de plantas en entornos urbanos, por no necesitarse ni altas chimeneas, ni altas torres de refrigeración pudiéndose instalar en los sótanos de los edificios o bajo las calles.

La mayoría de los componentes de las células de combustible son reciclables, mientras que en otras tecnologías el coste de desmantelamiento y almacenamiento de residuos es muy alto. La recuperación del platino y otros materiales valiosos puede convertirse en un negocio importante y puede cubrir los costes de desmantelamiento.

Por tanto, a largo plazo, cuando se llegue a un desarrollo económico del hidrógeno, las células de combustible serán sistemas de generación eléctrica muy competitivos. Con hidrógeno las eficiencias serán más altas que otros sistemas en competencia y sus emisiones serán asimismo menores.

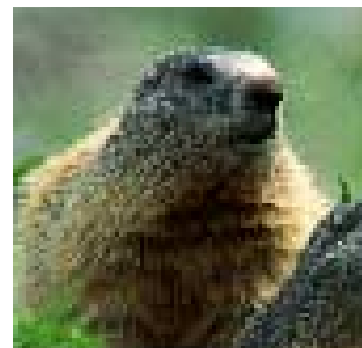
## Fauna y Flora Españolas *Alta montaña*



*Sierra de Ancares (Lugo-León)*



*Genciana azul*



*Marmotas*

- A.**
- Aceites. 48,99,106, 107,108,110,116
    - Aceite sintético. 112
    - Aceites aislantes. 106, 112
    - Aceites lubricantes. 106, 112
  - Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA. 105
  - Asociación Internacional de Protección Radiológica. 102
  - Auditorías medioambientales. 33
  - Óxidos de Azufre. 18, 39, 128
    - Dióxido de azufre. 17, 39,41,44
    - SO<sub>2</sub>. 28,29,36,38,39,42,43,50,51,141,146,150
    - SO<sub>x</sub>
    - Reducción de emisiones. 39,40,41,42,43,51,141
- B.**
- Biomasa. 6,118,119,126,127,128
- C.**
- Calidad del aire. 12,18,24,26,51
  - Cambio climático. 15,19,37
  - Carbón . 29,34,35,36,37,38,40,41,42,43,45,46,47, 48,49,50,51,75,76,77,106,110,111,116,134,135,136, 137,139,140,141,146,153,155
  - Células de combustibles. 6, 144,150,151,152,154,155,156
  - Cenizas. 28,29,35,36,38,40,42,43,45,46,48, 106,109,110,111,112,116,135,136,137,138,139,141
  - Centrales hidroeléctricas. 5,27,29,34,53,54,55, 62,128,129
  - Centrales térmicas. 33,37,41,42,43,45,47,139,145
    - Central termoeléctrica. 25,39,110
    - Centrales térmicas convencionales. 26,41
  - Centrales de fuelóleo. 35,37,39,47
    - Centrales de fuelóleo gaseas. 35
  - Ciclo de Combustible Nuclear. 87
  - CO<sub>2</sub>. 36,37,39,75,87,118,119,126,134,139, 140,141,149,153
    - Emisión de CO<sub>2</sub>. 134,141
    - Oxidos de Carbono. 36,37
    - Reducción de emisiones. 39,40,41,42,43,51,141
  - Códigos de Conducta Medioambiental. 20,21,32
  - Cogeneración. 6,50,126,137,144,145,146,153,155
    - Sistemas de cogeneración. Págs. 144,155
  - Combustibles fósiles. 5,6,24,26,34,35,75,118,126,133,134,155
  - Combustión. 18,26,28,29,32,36,37,38,39,40, 41,113,116,126,128,134,135,136,137, 138,139,140,147, 148,149,150,151,152
  - Combustión de lecho fluido a presión. 138,139, 140
    - Combustión limpia. 5,29,32,38,41,42
    - Combustión mixta. 41
    - Tecnologías de combustión limpias. 29,32, 38,41
    - Calderas de lecho fluido burbujeante. 6, 135
    - Combustión en lecho fluido. 6,29,138,140
    - Calderas de lecho fluido circulante. 6,136, 137
    - Sistemas de combustión en lecho fluido a presión. 6,138
  - Compuestos orgánicos volátiles. 32,150
  - Consejo de Seguridad Nuclear . 69
    - CSN. 69
  - Contaminación. 5,13,16,17,18,21,24,27,28,29,32,38, 44,47,49,51,70,71,77,82,84,90,91,99,100,111,125, 134,150,153,156
  - Contaminantes. 12,13,17,18,24,28,29,32,36,39,42, 50,51,62,72,80,118,134, 135,141,144,149,150
    - Contaminantes gaseosos. 39, 77,79, 81,155
    - Contaminantes sólidos. 17,19,25,26,28,39,49, 76,77,81,85,109,126,127,136,141
- D.**
- Desarrollo sostenible. 14,15
- E.**
- Efecto invernadero. 16,19,32,68,75, 123,126,128,141,150
  - Efluentes. 5,42,44,45,46,47,48,49,59,76,74,78,79, 80,81,82,90,141
  - Electrofiltros. 40
  - Energía eólica. 6,122,123
  - Energía geotérmica. 124,125
    - Geotérmica. 6, 118, 124,125
  - Energía maremotriz. 118,130
    - Potencial energético de las olas. 118, 130
    - Energía de los Océanos. 6, 130
  - Energía minihidráulica. 6,128,129
  - Energía nuclear. 27,68,69,74,90
    - Reglamento de Instalación Nuclear Radioactiva. 69
  - Energía solar. 6,119,120,121,122,130
  - Energía solar fotovoltaica. 6,120,121,122
    - Instalaciones fotovoltaicas . 121,122
  - Energías renovables. 118,119,121,123, 125,126,127,128,129
    - Plan de Energías Renovables. 123,127,129
    - Plan de Fomento de las Energías Renovables. 118,121,123,125,127, 129
  - Epilimnion. 61
  - Escalas. 62,63
  - Esclusas. 62,63
  - Escorias. 28,46,106,110,111,112,116
  - Especies migratorias. 63,123
  - Estudios Analítico Radiológicos. 76
- F.**
- Fauna acuática. 62, 63
  - Filtros de mangas. 40,43
  - Formación de personal. 21, 30, 31, 103,106
  - Fuelóleo. 34,35,36,37,39,47,152,150
- G.**
- Gas natural. 6,34,35,38,39,49,141,144,146,147,148,149,150,153
  - Gasificación del carbón. 6,41,50,139



- Gasificación y ciclo combinado. 6,140
- Gestión de residuos. 6,106,107
  - Internalización de la Gestión de Residuos. 105
  - Marco jurídico de los residuos. 108
  - Plan Nacional de Residuos Peligrosos. 109
  - Plan Nacional de Residuos Urbanos. 109
- Gestión integral medioambiental. 21

## H.

- Hipolimnion. 61

## I.

- I+D. 88,155
- Investigación y Desarrollo. 5,20,28,30, 31,51,89,90,92,103,121,155
- Impacto ambiental. 5,13,19,20,24,27, 28,39,54,69,75,81,89,94,96,99,100,118,123, 125,131,148
- Incineración. 106,107,108,112,116
- Irradiación. 70,71,72

## K.

- Kioto. 16,145

## L.

- Legislación medioambiental. 20
  - Ley de Aguas . 28
  - Ley de Conservación de la Energía. 118,129
  - Ley de Energía Nuclear. 68
  - Ley de Protección del Medio Ambiente. 27,37
  - Ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico. 27,37
  - Ley de Residuos Tóxicos. 28
  - Reglamento sobre el Dominio Público Hídrico. 48,49
- Líneas de transporte. 6,27,94,96,100,131

## M.

- Metales pesados. 32,134,135
- Metalimnion. 61
- Ministerio de Medio Ambiente. 69,98,113

## O.

- Óxidos de Nitrógeno . 18,36,43,44,134, 135,136,137,139,140

## N.

- NO<sub>2</sub>. 37
- NO<sub>x</sub>. 28,29,36,37,38,39,43,44, 50,51,140,141,146,148,150,156

## R.

- Reducción de emisiones. 39,40,41,42,43,51,141

## P.

- Partículas . 17,18,26,36,37,38, 39,40,60,76,77,82,128,136,137,140,141
  - Partículas en suspensión. 36,37
  - Reducción de partículas. 39
- Plantas depuradoras. 45, 109, 127
- Precipitadores electrostáticos. 63,38,40,43
- Programa de Investigación de UNESA . 28
  - Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico Electrotécnico (PIE). 28
- Protección ambiental. 20,26

## R.

- Radiactividad. 70,77,79,82,83,85
  - Contaminación radiactiva. 5,70,71,77
  - Radiaciones. 68,69,70,71,72,73,74,75,78,79,85
  - Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizante. 69,75,78,79
- Residuos. 5,6,16,17,19,25,28,31,43,44,48,49,61,68,70,76,77,79,80,84, 85,86,87,88,89,90,91,94,105,106,107,108,109,110,111,112,1 13,114,115,116,126,127,128,141,156
  - Residuos con PCBs. 100, 106, 112, 113, 116
  - Residuos Industriales. 6,105,106,107, 109,110,111,113,114,115,116
  - Residuos tóxicos. 28,31,108,111,116
  - Residuos radiactivos sólidos. 5,76,85

## S.

- Sistemas de desulfuración. 18,42,50
- Subproductos. 28,43,51,76,106,110,126,141

## T.

- Tecnologías limpias. 28,29
- Transporte y distribución. 6,7,25,27,28,30,94,100,103
- Turbogeneradores. 144

## V.

- Vertederos. 107,114
- Vertidos . 16,18,27,44,45,46,47,48,59,79,83,120,123,146
  - Vertidos líquidos. 27,47,48,120,123
  - Vertidos químicos. 43,45
- Vigilancia radiológica . 5,69,70,77,79,81,82,83,84
  - Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental. 5, 69,70,77,79,82,83
  - Programas de Vigilancia Radiológica en Emergencia. 70

Depósito Legal: M-9500-2001  
Fotografías: Archivo UNESA.  
Fotografías Fauna y Flora: Jorge Sierra.  
Diseño y Maquetación: IDEA, S.L.  
Fotomecánica: DIGITAL CASTILLA, S.A.L.  
Imprime: SAN GERMÁN IMPRESORES, S.A.