

INGENIERÍA CIVIL PARA UN MUNDO SOSTENIBLE



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

Editor: Juan Cagiao Villar

COLECCIÓN INGENIERÍA CIVIL N.º 4

Portada:

Antonio Fernández Pérez

Edición:

FUNDACIÓN INGENIERÍA CIVIL DE GALICIA

© De esta edición:

FUNDACIÓN INGENIERÍA CIVIL DE GALICIA

Realización gráfica:

Tórculo Artes Gráficas
Pza. Maestro Mateo, 9
A Coruña

I. S. B. N.: 978-84-613-3962-4

Depósito legal: C 3165-2009

PRÓLOGO

El nuevo marco: el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES)

En el acuerdo de Bolonia y los correspondientes a las siguientes reuniones, Praga, Berlín, Bergen y Londres, se reflejan unos acuerdos que únicamente atienden a temas de convergencia europea hacia un espacio común, o al menos comparable, de enseñanza superior, y no entran en temas específicos ni curriculares. Sin embargo, la obligada modificación que dichos acuerdos imponen a nuestros planes de estudios supone una oportunidad estratégica para modificar a fondo algunos conceptos básicos que, o bien no se contemplan en los actuales recorridos curriculares de nuestras Escuelas, o bien se plantean de una forma tangencial y casi anecdótica.

Uno de estos conceptos es el de la sostenibilidad, contemplado desde todos los puntos de vista: el desarrollo sostenible, la sostenibilidad como base y guía de la actividad constructiva, y la sostenibilidad de los propios planes de estudios.

¿Qué se entiende por desarrollo sostenible?

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) marca un punto inicial en el año 1980 con su “Estrategia para la Conservación del Mundo: conservación de los recursos biológicos para el desarrollo sostenible, definiendo el uso sostenible de los ecosistemas: *“deberíamos utilizar las especies y los ecosistemas a los niveles y del modo que se les permita renovarse de todos los modos indefinidamente”*, y el propio término de desarrollo sostenible como *“el desarrollo que permita alcanzar una satisfacción duradera de las necesidades humanas y mejorar la calidad de la vida humana”*.

Así, a mediados de los años 80 va tomando cada vez más fuerza la idea de sostenibilidad, tanto desde la perspectiva académica de los economistas como desde la perspectiva de los ambientalistas.

El año 1987 se considera un hito en la literatura del desarrollo sostenible porque se presenta en la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo el documento “Nuestro Futuro Común” (Informe Brundtland). En este documento se define por primera vez de forma general el concepto de desarrollo sostenible como *“el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para*

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

satisfacer las suyas". Esta fecha posee valor de referencia ya que se considera que éste es el primer documento importante de la agenda internacional del desarrollo en donde el desarrollo sostenible se plantea como meta: *"estamos viendo que se requiere un nuevo modelo de desarrollo, uno que suponga un progreso humano sostenido no solamente en unos pocos lugares para unos pocos años, sino para todo el planeta en un futuro lejano"*.

Esta definición incorpora dos conceptos clave: el concepto de "necesidades", en particular las necesidades esenciales de los más pobres del mundo, a los que debe concederse la mayor prioridad, y la idea de "limitaciones" impuestas por el estado de la tecnología y la organización social sobre la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras. El hecho es que todavía muchos de nosotros vivimos por encima de la capacidad ecológica del mundo, por ejemplo, en nuestro modelo de uso energético.

El desarrollo sostenible requiere la promoción de valores que promuevan los estándares de consumo que están dentro de los límites de lo ecológicamente posible y a los cuales todos podamos razonablemente aspirar.

Desarrollo sostenible es uno de los términos en donde la confluencia de diferentes disciplinas, como la ecología, la economía, la ética, la política, la sociología, las ingenierías y la arquitectura, el derecho o la cultura, etc., están marcando facetas diferenciadas, facetas que guardan relación con la perspectiva propia de cada disciplina. Así, como expone Font: *"las diferentes disciplinas que se han ocupado de conceptualizar el desarrollo sostenible se interesan por cuestiones de diversa índole: la perspectiva ecológica pone el acento en la necesidad de mantener la biodiversidad y los ecosistemas; la economía se interesa, entre otras cuestiones, por la internalización de las externalidades; el discurso ético recurre a principios filosóficos universales, y la ciencia política se preocupa por la gobernabilidad y la justicia distributiva"*.

La evolución del paradigma de desarrollo sostenible se inicia verdaderamente entre los años 50 y 60, centrado, desde una perspectiva puramente económica, en el crecimiento y en el incremento de la producción. Posteriormente, en los años 70, se incorpora la dimensión social, cuyos objetivos fundamentales son proveer un desarrollo más social, reduciendo la pobreza e incrementando la equidad. Más tarde, en los años 80, se incorpora el objetivo ecológico, propiciando unas nuevas pautas de relación con los objetivos económicos, mediante los instrumentos de evaluación ambiental, de las técnicas de valoración y de los procesos de internalización de los costes ambientales en los procesos productivos. La relación entre los objetivos ambientales y los sociales se articula a través de mecanismos de participación pública y consultas, así como un respeto a la diversidad cultural y la pluralidad. Algunos autores están incorporando a sus estudios indicadores de gestión además de los habituales (económicos, sociales y ecológicos). Estos nuevos indicadores están relacionados con la dimensión político-institucional.

La propuesta teórica del desarrollo sostenible tiene implícita, como cabe suponer, una clara dimensión ética; dimensión que puede alcanzar valores tanto colectivos como individuales. Se trata por tanto de un compromiso intrageneracional e intergeneracional que requiere un necesario cambio cultural.

El papel del conocimiento científico y de la tecnología en el desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es una actividad intensiva en conocimiento y puede contemplarse como un proceso de gestión adaptativa y aprendizaje social en el que el conocimiento desempeña un papel central.

El papel del conocimiento y del aprendizaje se debate permanentemente entre la necesidad de agregar informaciones y datos discretos al enorme caudal de los existentes, y la forma en que todos estos nuevos elementos se integran en un marco teórico más amplio que permita el entendimiento del significado de cada parte, pero también del conjunto.

La comunidad académica está cada vez más obligada a aportar soluciones a los problemas de la sostenibilidad. El mensaje de mayor calado que emerge de las discusiones a partir de la Cumbre de Johannesburgo de 2002 es que la comunidad científica tiene que complementar su papel histórico como identificadora de los problemas de la sostenibilidad para trabajar en soluciones prácticas.

Para Clark y Dickson *“la ciencia de la sostenibilidad todavía no es un campo ni una disciplina autónoma, sino, más bien, un escenario vibrante que está aproximando a los académicos y a los técnicos perspectivas globales y locales del norte y del sur, y disciplinas diversas como las ciencias naturales y las sociales, la ingeniería y la medicina. Su enfoque de los temas principales, de los criterios para el control de la calidad y sus integrantes comparten elementos sustanciales, y puede esperarse que sea durante algún tiempo”*.

Un escenario más evolucionado será el que propicie el desarrollo de una forma diferente de “practicar” la técnica. Así, Cash et al. señala que: “el nuevo contrato para la ciencia y la ingeniería que se ha venido reclamando en muchas discusiones sobre la sostenibilidad necesita ser contemplado como un verdadero contrato, no solamente para proyectos o estudios concretos, sino para todas las carreras profesionales”.

La sostenibilidad y la ingeniería civil

En la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992 surgió el programa de las Agendas 21 locales, cuyo principal objetivo es el de conseguir que haya una contribución efectiva desde los ámbitos locales al desarrollo sostenible global: actuar localmente, pensar globalmente.

La puesta en práctica de unas estrategias ambientalmente sostenibles no es una simple cuestión de tecnología o de comprensión ecosistémica, sino una cuestión política, institucional y de articulación y ejecución de una política pública.

En su comunicación “Desarrollo sostenible en Europa para un mundo mejor: estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible” (propuesta de la Comisión ante el Consejo

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

Europeo de Gotemburgo) la Comisión identifica las principales amenazas a la sostenibilidad en Europa y propone una estrategia centrada de manera prioritaria en ellas. Parte importante de estas amenazas a la sostenibilidad guardan una evidente relación con la construcción y gestión de las infraestructuras, el transporte, la construcción y el urbanismo, entre otros. En todos estos frentes el ingeniero de caminos, canales y puertos tiene competencias profesionales y debe por tanto ser consciente de estas amenazas y actuar en consecuencia. Así por ejemplo, en el ámbito de las ciudades, el papel del ingeniero de caminos municipal resulta cada vez más importante en su buen gobierno. Abarca diversas funciones, desde el urbanismo en general, el transporte metropolitano y el tráfico que genera, la gestión de residuos, el medio ambiente urbano, hasta el diseño, materialización y gestión de las distintas redes de servicios como las de abastecimiento y saneamiento, gas, energía, comunicaciones, etc. El planteamiento global por el que se debe regir la concepción y gestión de estos servicios es lógicamente el de la sostenibilidad de los mismos.

Como consecuencia, el ingeniero de caminos, canales y puertos ha de:

1. Pensar en clave de sostenibilidad (protección ambiental, cohesión social y productividad económica) como concepto añadido a los tradicionales de eficiencia, salud, seguridad, durabilidad, economía, etc.
2. Conseguir la información accesible y creíble de los atributos de sostenibilidad de los productos y materiales que selecciona.
3. Tener la confianza para hacer los juicios de valor y comprender mejor las implicaciones éticas de sus decisiones.

En este sentido, el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos aprobó en el año 2002 (año europeo del desarrollo sostenible) una declaración relativa al Compromiso Ético con el Desarrollo Sostenible que consideramos de un gran interés y que indica, entre otras cosas las siguientes:

“Las funciones de planificación, diseño, ejecución y explotación de infraestructuras, objeto principal de la actividad profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, tienen una incidencia mayoritaria en el medio ambiente y deben ser realizadas con una visión integrada del medio natural y de los factores sociales y económicos, pues, en definitiva, el encaje de estas tres dimensiones (medio natural, dimensión social y dimensión económica) constituye el Desarrollo Sostenible y, en particular, la ingeniería civil sostenible.”

Y desde el punto de vista que nos ocupa, el formativo, el Colegio afirma:

“En el campo de la formación, el Colegio apoyará la inclusión de los conocimientos generales y específicos sobre la sostenibilidad, dentro de la educación en la Universidad. Asimismo, facilitará conceptos estratégicos y éticos sobre el quehacer durable en la formación permanente de los ingenieros a lo largo de su vida profesional, y apostará por la investigación y la innovación en materia de sostenibilidad.”

La sostenibilidad y la universidad

A pesar de las evidencias y de las buenas intenciones, el concepto de sostenibilidad global era hasta hace relativamente poco tiempo extraño a la formación universitaria. La primera actuación de cierta envergadura en esta línea fue, en opinión de los autores, la creación en la Universitat Politècnica de Catalunya de la Cátedra UNESCO de sostenibilidad creada en 1996 por convenio entre la Universidad, el Gobierno Autónomo y la UNESCO. Con anterioridad ya se había venido hablando de la imperiosa necesidad de introducir estos conceptos como básicos de la formación universitaria moderna. Por ejemplo, la declaración de Talloires de Rectores de Universidades para un Futuro Sostenible de 1990 recoge que: *“las universidades y las instituciones equivalentes de educación superior capacitan a las generaciones futuras de ciudadanos y de expertos en todos los ámbitos de la investigación, tanto en los aspectos tecnológicos como en las disciplinas de las ciencias naturales, humanas y de la ciencia social. Consecuentemente es su responsabilidad extender el pensamiento medioambiental y promover prácticas ambientalmente éticas en la sociedad, de acuerdo con los principios presentes en la Carta Magna Europea de las Universidades y de las declaraciones siguientes de las universidades, y en la línea de las recomendaciones de la UNCED (Conferencia de las Naciones Unidas en desarrollo y ambientalización) para el desarrollo del educación.”* Posteriormente se suceden distintos acuerdos como la Declaración de Halifax (Canadá 1991), la Declaración de Swansea (Reino Unido, 1993), la Declaración de Kyoto (Japón, 1993), la University Charter for Sustainable Development (Barcelona, 1993) y la Student Declaration for Sustainable Future (Liverpool, 1995). Todas ellas pueden consultarse en la web de Sustainable Development on Campus. Como resumen conciso del pensamiento que se estaba instituyendo en aquella época es paradigmático el breve comentario de la Carta Copérnico de Rectores de Universidades Europeas (CRE) de 1994: *“las universidades educan muchas de las personas que desarrollan y gestionan las instituciones de la sociedad. Por esta razón, las universidades tienen una profunda responsabilidad en incrementar el conocimiento, las tecnologías y las herramientas para conseguir de un futuro sostenible”*.

La sostenibilidad y los nuevos planes de estudios

Consecuentemente con lo anteriormente expuesto, las universidades y dentro de ellas con mayor razón las escuelas de ingenieros en general y de ingenieros de caminos en particular, han de establecer los mecanismos necesarios para que sus egresados piensen en términos de sostenibilidad. Pero esto no significa exclusivamente la “enseñanza de asignaturas que incidan en los aspectos técnicos, sociales y económicos de la sostenibilidad”. Significa también que la totalidad del plan de estudios debe estar diseñado desde el punto de vista de la sostenibilidad curricular. Como hemos indicado anteriormente, esta cuestión fue tratada a fondo por la CRUE (Conferencia de Rectores de Universidades Españolas). En ese documento se establece que los profesionales del futuro han de ser capaces de:

1. Comprender cómo su actividad profesional interactúa con la sociedad y el medio ambiente, local y globalmente, para identificar posibles desafíos, riesgos e impactos.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

2. Entender la contribución de su trabajo en diferentes contextos culturales, sociales y políticos y como éstos afectan al mismo y a la calidad ambiental de su entorno.
3. Trabajar en equipos multidisciplinares, para dar solución a las demandas impuestas por los problemas socio ambientales derivados de los estilos de vida sostenibles, incluyendo propuestas de alternativas profesionales que contribuyan al desarrollo sostenible.
4. Aplicar un enfoque holístico y sistémico a la resolución de problemas socio ambientales y la capacidad de ir más allá de la tradición de descomponer la realidad en partes inconexas.
5. Participar activamente en la discusión, la definición, diseño, implementación y evaluación de políticas y acciones tanto en el ámbito público como privado, para ayudar a redirigir la sociedad hacia un desarrollo más sostenible.
6. Aplicar los conocimientos profesionales de acuerdo con principios deontológicos y valores y principios éticos universales.
7. Recoger la percepción, demandas y propuestas de los ciudadanos y permitir que tengan voz en el desarrollo de su comunidad.

Para formar estos profesionales es necesario:

1. La revisión integral de los currícula desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible que asegure la inclusión de los contenidos transversales básicos en sostenibilidad en todas las titulaciones, con el fin de adquirir las competencias profesionales, académicas y disciplinares necesarias. Lo anterior debe lograrse mediante el reconocimiento académico cuantificable de contenidos generales de sostenibilidad para todas las titulaciones y de contenidos específicos adaptados al contexto de cada titulación.
2. La inclusión de criterios de sostenibilidad en los sistemas de evaluación de la calidad universitaria.

Si nos fijamos en la titulación de ingeniero de caminos, canales y puertos, que, como dijimos antes, es una de las que forma profesionales con mayor incidencia en la consecución de estos principios, creemos que a corto plazo se debería fomentar:

1. Acciones de capacitación del profesorado que les capaciten para la inclusión de conceptos sobre sostenibilidad en sus asignaturas.
2. La introducción en las enseñanzas prácticas de procedimientos correctos desde los puntos de vista medioambientales y de prevención de riesgos.
3. La inclusión de itinerarios de especialización en sostenibilidad específicos para la titulación.
4. Acciones de educación ambiental no curricular que complementen la formación del estudiante, en forma de seminarios, jornadas, mesas de trabajo, voluntariado, etc. y que puedan tener valor en créditos de libre elección.

Prólogo

5. La elaboración de recursos y materiales de apoyo a la sostenibilización curricular.
6. La incorporación de asignaturas relacionadas con el cambio climático y los desastres naturales (gestión de situaciones y condiciones extremas).
7. La evaluación de los proyectos de fin de carrera y tesinas de licenciatura desde una perspectiva de la sostenibilidad, así como una oferta específica de carácter sostenibilista.
8. La promoción de actividades de investigación (proyectos, tesis,) encaminadas a mejorar los conocimientos técnicos del desarrollo sostenible en la rama de la ingeniería civil.

Pero las lecciones en desarrollo sostenible debe continuar una vez que el ingeniero sale de la escuela, en el ejercicio profesional, y por ello a la labor docente en la escuela debe ir sumada una acción por parte del colegio en la misma línea reforzando las buenas prácticas en ética y valores.

En definitiva, la sostenibilidad empieza por pensar en clave de sostenibilidad. Debe convertirse en un modo de vivir, de entender el mundo, de proyectar desarrollo. La Universidad, y la Escuela de Ingenieros de Caminos dentro de ella, a través de las distintas disciplinas, tienen la obligación moral de comunicar, transmitir, compartir esta enseñanza. Se trata de un compromiso supranacional con la sociedad y con el entorno. Desde el punto de vista de la formación universitaria, la sostenibilidad, tanto en la educación como luego en el diseño y el desarrollo de políticas globales y sectoriales, debe ocupar el escalón más elevado.

La ingeniería civil y la arquitectura son las disciplinas que más inciden en la transformación del medio en el que vive el hombre, creando lugares artificiales como los sistemas de ciudades y sus redes de comunicación, y es por ello que deben ser conscientes de la necesidad de fomentar un desarrollo armónico basado en una ética de la tierra, es decir, comprometida con conservar el lugar natural heredado, incluso mejorarlo.

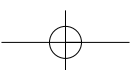
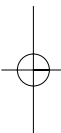
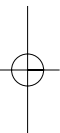
Los ingenieros de caminos deben salir de la Escuela con una formación sólida y comprometida con el desarrollo sostenible para que puedan transmitir esa forma de hacer a las empresas en las que desarrollen su trabajo. La implementación de un “modus operandi” sostenible debe abordarse de un modo técnico, es decir, debe poderse medir y evaluar, aunque su origen sea ideológico. Las ideas sin la técnica no son nada, y a la inversa, de modo que los especialistas, nuestros ingenieros, han de serlo simultáneamente en uno y otro aspecto.

Manuel Casteleiro Maldonado

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

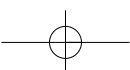
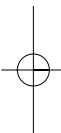
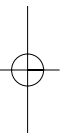
Juan Cagiao Villar

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



ÍNDICE

Capítulo 1	
LA INFLUENCIA DEL TERRITORIO Y SU BIODIVERSIDAD EN LAS POLÍTICAS DE PLANIFICACIÓN DE LA OBRA PÚBLICA EN ESPAÑA	13
Capítulo 2	
UN NUEVO URBANISMO PARA ABORDAR LOS RETOS DE LA SOCIEDAD ACTUAL	49
Capítulo 3	
EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA. UN INSTRUMENTO PARA LA INTRODUCCIÓN DE CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO	85
Capítulo 4	
NATURALEZA, CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	101
Capítulo 5	
ENERGÍA EN EL SIGLO XXI	119
Capítulo 6	
LA EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. EJE DE LA TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO	155
Capítulo 7	
HORMIGÓN CON ÁRIDOS RECICLADOS	173
Capítulo 8	
APLICACIONES DE LOS MODELOS MEDIOAMBIENTALES ...	183



CAPÍTULO
5**ENERGÍA EN EL SIGLO XXI****JUAN ANTONIO ARIZMENDI***Director de la División de Generación Convencional
Socoin, Unión Fenosa***1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de esta ponencia es dar una visión general sobre la energía en la actualidad, su evolución previsible, los aspectos más relevantes que influyen en el desarrollo de las tecnologías y el papel que la ingeniería civil desempeña en el diseño y construcción de las grandes instalaciones de generación.

La energía está presente durante toda la vida de una persona. El progreso de los pueblos ha estado unido a un aumento en el consumo medio por persona. No podemos vivir sin energía, la usamos para calentarnos, para desplazarnos, para transportar cosas, para producir utensilios y máquinas que nos hacen la vida más fácil. En algo tan sencillo como abrir un grifo de agua o encender una luz nos estamos beneficiando de tener energía disponible. Sin embargo, también en un acto tan simple estamos dando lugar a los impactos negativos que conlleva la transformación de la energía que empleamos.

Desde la utilización del fuego por el hombre prehistórico para calentarse o cocinar alimentos y de los animales para transportar cargas o personas, hasta la actualidad, se han tenido que producir grandes descubrimientos como el de la energía eléctrica o la máquina de vapor.

Las primeras redes de transporte y distribución de energía eléctrica fueron extendiéndose y las instalaciones de generación aumentando su tamaño y complejidad en una tendencia incesante hacia la centralización. Las fuentes de energía se han ido diversificando empleándose nuevos combustibles y las tecnologías evolucionando para hacer un uso cada vez más eficiente de las fuentes. Así de los molinos que aprovechaban las corrientes de los ríos para moler el trigo se ha llegado a las modernas centrales hidroeléctricas que generan gran cantidad de energía.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



En general los usos de la energía consisten en la combustión directa de combustibles y en la generación y consumo de la energía eléctrica.



La energía eléctrica es una manifestación de un fenómeno físico que sucede al circular corrientes de electrones por unos materiales con propiedades especiales llamados conductores. La electricidad facilita el transporte y la utilización de la energía allí donde se necesita.

La energía eléctrica se produce por el movimiento de un conductor en el interior de un campo magnético. Las fuentes de energía más extendidas son los combustibles que como consecuencia de la reacción química con un comburente, liberan una energía térmica que se

emplea en unos dispositivos o sistemas para accionar máquinas generadoras que la convierten en energía eléctrica. Mediante las redes de transporte y distribución, la energía generada se transporta a puntos lejanos o cercanos donde es utilizada por los consumidores.

Los combustibles no sólo son la fuente de energía más antigua sino también la más utilizada. Pero también, a lo largo de la historia se han descubierto y utilizado otras fuentes de energía como el viento, el Sol o la energía potencial del agua.



2. LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

Existen varias clasificaciones posibles de las tecnologías de generación de energía eléctrica. En atención a su grado de sostenibilidad se pueden clasificar en renovables y no renovables. Si se atiende a la escala de producción de las centrales generadoras se pueden clasificar en tecnologías de generación a gran escala y tecnologías de generación a pequeña escala. En la siguiente tabla, y sin pretender ser exhaustivos, se clasifican las tecnologías a la vez por los dos criterios anteriores.

Tabla 1. Clasificación de las tecnologías de generación

	Renovables	No renovables
Generación a gran escala	Centrales hidroeléctricas Parques eólicos Centrales solares térmicas Centrales de biomasa Centrales geotérmicas Centrales mareomotrices	Centrales térmicas Centrales nucleares Centrales de ciclo combinado Centrales de ciclo simple Centrales de motores
Generación a pequeña escala	Minihidráulicas Aerogeneradores Solar fotovoltaica Mareomotriz	Motores Microturbinas Pilas de combustible Turbinas de gas

2.1 Centrales hidroeléctricas

Se denomina energía hidroeléctrica a aquella que se obtiene de aprovechar la energía potencial de una masa de agua situada en el cauce de un río o retenida en un embalse para convertirla primero en energía mecánica, mediante el giro de una turbina y, posteriormente, en energía eléctrica en un generador acoplado a la turbina.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



El agua presenta, entre otras muchas propiedades que hacen de ella un elemento único en la naturaleza, la característica de ser una fuente energética renovable gracias a un ciclo natural hoy suficientemente conocido. La transformación de su energía potencial gravitatoria en energía eléctrica permite un alto nivel de eficiencia energética, ya que en el proceso se puede alcanzar elevados grados de rendimiento, del orden del 90%. Hoy en día pocas tecnologías energéticas consiguen unos rendimientos tan elevados. Como fuente de energía renovable, la energía hidroeléctrica es la más importante en España. Supone aproximadamente el 50% de la energía primaria de origen renovable que se consume.

Además, desde la óptica medioambiental, la hidroelectricidad es una fuente energética con un impacto sobre el entorno que es moderado, puntual o limitado espacialmente y reversible en el tiempo, presentando normalmente un balance global asumible. La experiencia adquirida en el diseño de obras hidráulicas y la incorporación de criterios para la reducción de los posibles efectos medioambientales desde la concepción del proyecto son elementos que garantizan la realización de las obras y su posterior explotación con criterios de sostenibilidad.

Es, por añadidura, una fuente energética totalmente autóctona, ya que es un recurso primario existente en suelo nacional que es aprovechado, en el caso de España, mediante equipos y tecnologías, en su mayor parte también nacionales. Se calcula que cada kWh producido en una central hidroeléctrica evita la importación de 220 gramos de petróleo o su equivalente energético, si se trata de otro combustible fósil. En un año de producción hidroeléctrica media, España se ahorra la importación de unos 7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep). Adicionalmente, los embalses hidroeléctricos juegan un importante papel como elemento regulador de caudales y en la laminación de avenidas, y gracias a ello el Estado se ha evitado en muchos casos importantes inversiones que en otro caso hubiera tenido que acometer con esos fines reguladores.

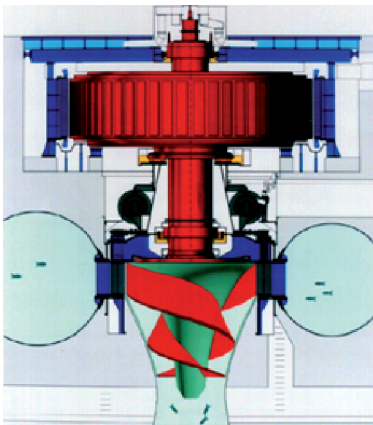
Desde el punto de vista del sistema eléctrico, los aprovechamientos hidroeléctricos, sobre todo aquellos dotados de un embalse asociado, proporcionan una elevada calidad y garantía al suministro de energía eléctrica, facilitando el seguimiento de la curva de carga, esto es, de las variaciones de la demanda, la regulación de la frecuencia y de la tensión y contribuyendo en caso necesario a la rápida reposición del servicio o a la sustitución inmediata de la producción de centrales térmicas convencionales o nucleares en caso de indisponibilidad fortuita (reserva rodante).

De cara al futuro, además de las funciones mencionadas, la energía hidroeléctrica probablemente tenga un papel adicional de compensación de las variaciones de otros medios de producción “no despachables”, como puede ser la energía eólica.

Energía en el Siglo XXI

Las centrales hidroeléctricas son la principal fuente renovable de energía. Generan electricidad que no produce ningún tipo de contaminación. No obstante, la construcción de este tipo de centrales produce cierto impacto social y medioambiental. En ocasiones provoca alarma en las poblaciones situadas aguas abajo del salto debido al historial de fallo de presas. Provocan también la desaparición de tierras de cultivo así como el desplazamiento de poblaciones situadas en las áreas de embalse. Asimismo, da lugar a alteraciones en las condiciones de la fauna en los ríos en los que se construyen las presas tanto en los propios embalses en los que la concentración de O_2 se reduce, como en los cauces aguas abajo que reciben aguas con bajos contenidos de O_2 disuelto.

Por otro lado, en los países desarrollados se han aprovechado ya casi todos los potenciales saltos existentes. Por esta razón y por lo indicado anteriormente, no es previsible que se construyan grandes centrales hidroeléctricas en los próximos años.



Los retos que tienen pues las centrales hidroeléctricas son maximizar el uso del agua para la generación a la vez que se eliminan los efectos no deseables en el medioambiente.

Las centrales hidroeléctricas convencionales emplean turbinas de impulso o reacción para convertir la energía cinética del agua fluyendo o cayendo en un par de giro en la turbina y una potencia en el generador.

Se están desarrollando en la actualidad nuevos criterios para el diseño y la operación de las turbinas para mantener el lugar de las centrales hidroeléctricas como fuente limpia y renovable de energía permitiendo mejoras en las presas existentes.

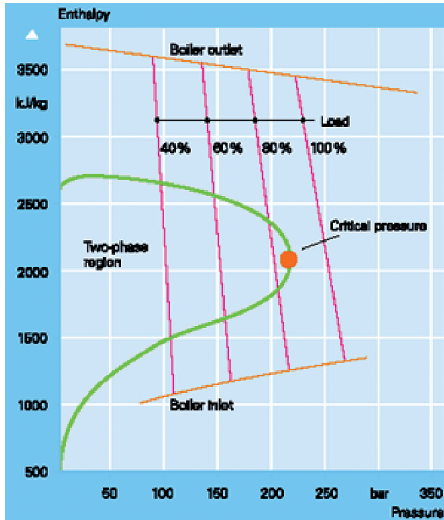
2.2 Centrales térmicas. Combustibles

Dentro de este capítulo consideraremos las centrales de combustibles fósiles basadas en el ciclo termodinámico de Rankine. De entre estas centrales, las centrales de carbón son las que tienen una mayor presencia por ser el precio de este combustible el más bajo entre los dis-

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

ponibles debido a su abundancia y a que sus reservas están muy distribuidas. Existen también centrales de este tipo con fuel-oil o gas natural como combustible aunque su presencia es mucho menor por razones económicas.

Las tecnologías implantadas más importantes en este capítulo son las siguientes:



Centrales subcríticas: Son aquellas en las que la presión que alcanza el vapor está por debajo de la presión correspondiente al punto crítico del agua, punto a partir del cual no coexisten agua en forma de líquido y de vapor y por debajo del cual se da el cambio de fase. Dentro de este tipo de centrales las tecnologías más frecuentes son:

- Carbón pulverizado.
- Lecho fluido circulante.
- Lecho fluido burbujeante.

Centrales supercríticas: Las condiciones del vapor están por encima del punto crítico.

- Carbón pulverizado.
- Lecho fluido circulante.

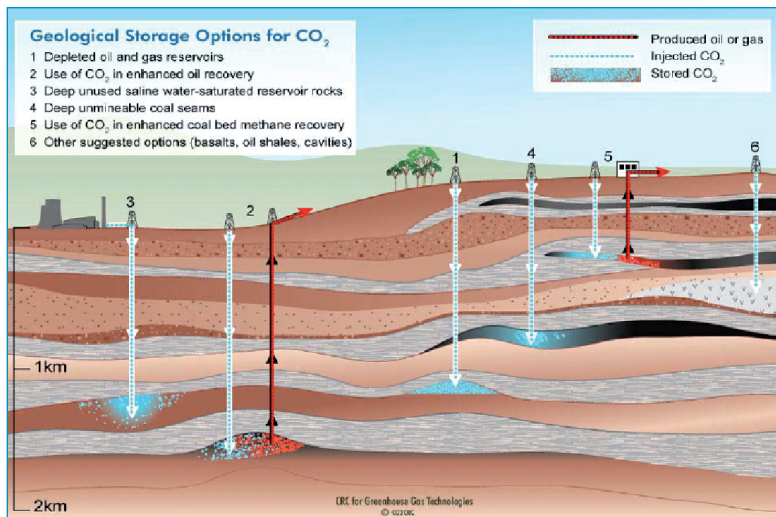
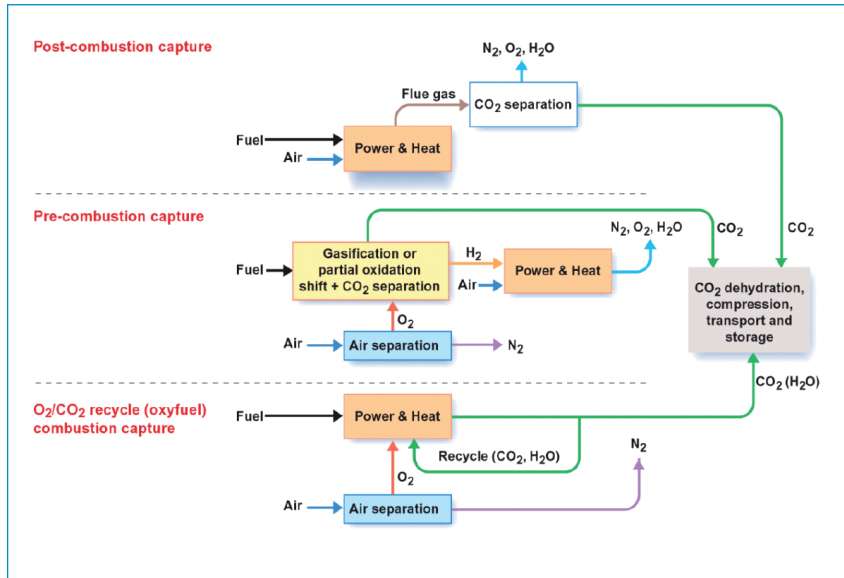
Las centrales de combustibles fósiles producen una energía no renovable debido a que emplean fuentes agotables. Las emisiones de CO₂ que generan contribuyen a incrementar la concentración de este gas en la atmósfera y, por tanto, al cambio climático.



El futuro de estas centrales está asociado a la valoración política de los efectos de sus emisiones. Hoy por hoy se presume favorable en aquellos países en vías de desarrollo con derecho para emitir niveles de CO₂ superiores a los actuales como pueden ser Rusia, China o la India y que poseen grandes reservas, y posible en aquellos que no suscriben el Protocolo de Kyoto como Estados Unidos.

Energía en el Siglo XXI

En los países que ya emiten niveles superiores a los máximos establecidos por el Protocolo de Kyoto, el futuro del carbón puede estar en la mejora de las instalaciones existentes por tecnologías más avanzadas que aumentan el rendimiento y disminuyan, por tanto, el consumo por unidad de energía producida así como que incorporen sistemas de captura y secuestro de CO₂.

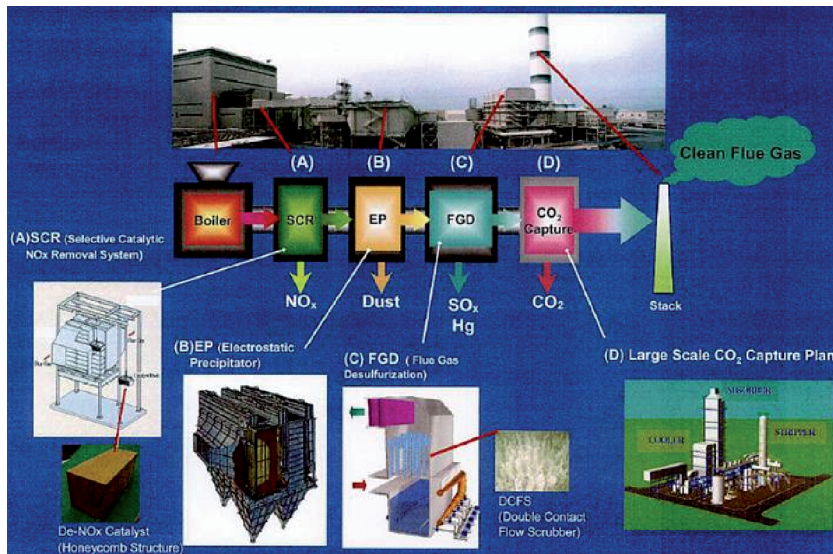


Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



Capacidad de almacenamiento de CO₂

Las instalaciones existentes han de ser objeto de sucesivas optimizaciones para reducir las emisiones que producen, al paso que evoluciona la normativa aplicable, que puede suponer para muchas de las existentes el final de su vida útil.



Combustibles

El combustible más empleado para la generación eléctrica es el carbón por el elevado volumen de reservas existente en el mundo que se encuentran muy distribuidas, lo que favorece la estabilidad de su precio.

Energía en el Siglo XXI

También se emplean otros combustibles como el fuel oil o fracción pesada del petróleo, el gas oil también procedente del petróleo y el gas natural.

Los combustibles se diferencian por sus características físicas que condicionan la facilidad con que se realiza su combustión y sus propiedades químicas como son la composición y el poder calorífico.

2.3 Centrales nucleares

La aplicación principal de la energía nuclear es la producción de electricidad en las centrales nucleares. En ellas, la energía de las radiaciones emitidas en la fisión del uranio produce una gran cantidad de calor que se aprovecha para la producción de energía eléctrica.

La fisión nuclear es una reacción en la cual al hacer incidir neutrones sobre un núcleo pesado, éste se divide en dos núcleos, liberando una gran cantidad de energía y emitiendo dos o tres neutrones. Fue descubierta por O. Hahn y F. Strassmann en 1938, al detectar elementos de pequeña masa en una muestra de uranio puro irradiada con neutrones.



CN Almaraz (Cáceres)

El proceso de fisión es posible por la inestabilidad que tienen los núcleos de algunos isótopos de elementos químicos de alto número atómico, como por ejemplo el uranio 235, debido a la relación existente entre el número de partículas de carga eléctrica positiva (protones) y el número de partículas nucleares de dichos núcleos

(protones y neutrones), bastando una pequeña cantidad de energía como la que transporta el neutrón que colisiona con el núcleo, para que pueda producirse la reacción de fisión.

A su vez, los neutrones emitidos en la fisión de un núcleo pueden ocasionar nuevas fisiones al interactuar con nuevos núcleos fisionables que emitirán nuevos neutrones y así sucesivamente. A este efecto multiplicador se le conoce con el nombre de reacción en cadena. La primera reacción de fisión en cadena sostenida la consiguió Enrico Fermi, en 1942, en la Universidad de Chicago.

Cuando se consigue que sólo un neutrón de los liberados produzca una fisión posterior, el número de fisiones que tienen lugar por segundo es constante y la reacción está controlada. En este principio están basados los reactores nucleares.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

Una central nuclear es similar a una central térmica en la que actúa como caldera un reactor nuclear. El calor obtenido de la reacción de fisión en cadena en el reactor se transfiere a un refrigerante (agua) que se utiliza para producir vapor que va a una turbina que mueve un alternador, produciendo energía eléctrica.

Una central nuclear tiene distintos edificios característicos. Los más importantes son el de contención, turbinas, combustible y eléctrico. El edificio de contención es el más característico de una central nuclear y en él se encuentra el reactor y todos aquellos elementos que contienen material de alto grado de radiactividad. En algunas centrales también alberga la zona de manejo de combustible. Este edificio es una estructura de hormigón armado, cuyas paredes interiores están recubiertas de chapas de acero que aseguran la completa hermeticidad.

El edificio de turbinas contiene el grupo o grupos de turbina-alternador y sus sistemas auxiliares. Los sistemas eléctricos, los centros de control de motores, así como la sala de control se encuentran en el edificio eléctrico. Desde este lugar se controlan todos los sistemas de la central.



La combinación de las diferentes opciones posibles de combustible, moderador y refrigerante configuran los diversos tipos de reactores nucleares. De ellos, los que han experimentado un mayor desarrollo son los que operan con neutrones térmicos y uranio ligeramente enriquecido, empleando agua ligera como refrigerante y moderador. Destacan dos tipos de reactores comerciales operativos en el mundo, a los que pertenecen el total de las centrales nucleares existentes en España: los reactores de agua a presión (PWR - Pressurized Water Reactor) y los reactores de agua en ebullición (BWR - Boiling Water Reactor).

La industria de la energía nuclear clasifica los diseños de reactores nucleares en generaciones. Cada generación incorpora mejoras evolutivas con conceptos revolucionarios que representan el siguiente paso en la tecnología de reactores.

Energía en el Siglo XXI

- Generación I. Fue el prototipo de reactores comerciales de las décadas de 1950 y 1960.
- Generación II. Son los reactores desplegados en las décadas de 1970 y 1980 y que se encuentran actualmente en operación comercial. Incluyen los reactores de agua ligera tales como los de agua en ebullición (BWR) y los de agua a presión (PWR).
- Generación III. Se refiere a las centrales nucleares de diseño avanzado. Incluye, junto a otros, el reactor avanzado de agua en ebullición (ABWR), el Sistema 80+ reactor avanzado de agua a presión (APWR) y el reactor pasivo AP600. Estos diseños fueron desarrollados en Estados Unidos y fueron certificados por la Nuclear Regulatory Commission en la década de 1990. Reactores ABWR y APWR se han construido y están en operación en varios países del mundo.
- Generación III+. Son los reactores que se encuentran actualmente en proceso de construcción. Han estado en desarrollo durante la década de 1990 y están en la actualidad en diversas etapas de desarrollo e implantación. Incluyen el EPR europeo, el “Pebble-Bed Modular Reactor” (PBMR) y el AP1000. Tienen diseños de seguridad pasiva y el PBMR es refrigerado por gas, ambas características tecnológicas pueden preceder a los reactores de IV generación. El diseño del PBMR no ha sido todavía certificado por la NRC.



– Generación IV. Estos reactores se construirán probablemente alrededor de 2030 y se espera que sean económicos, que incorporen seguridad aumentada, produzcan un mínimo residuo y no permitan la proliferación. El Reactor Internacional Innovador y Seguro (IRIS) es el reactor de IV generación que se encuentra en un estado de desarrollo más avanzado. Es un reactor de agua ligera (LWR) que incorpora ingeniería avanzada para incrementar la seguridad y reducir los costes de operación. Otro reactor de IV generación es el reactor modular de Helio con turbina de gas (GT-MHR) que dispone de características de seguridad pasiva y es refrigerado por gas.

El reactor europeo EPR del que se encuentra dos unidades en construcción, una en Finlandia, Olkiluoto 3, y otra en Francia, Flamanville 3, es un reactor considerado evolutivo por partir de la tecnología actualmente en explotación de reactores de agua ligera a presión. Es un reactor de agua a presión con una potencia eléctrica de cerca de 1.600 MW, de cuatro lazos que

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

incorpora características del modelo N4 francés y del modelo alemán KONVOI y muchas otras resultado del esfuerzo de investigación y desarrollo realizado por FRAMATOME y SIEMENS.

La fusión

Se basa en la utilización de la energía generada en la fusión nuclear de átomos ligeros en otros más pesados. Desde los años 50, viene siendo objeto de un importante esfuerzo de investigación y desarrollo, debido a la ventaja que presenta la gran cantidad de energía liberada en dicho proceso y la abundancia de deuterio, un isótopo del hidrógeno apto para la fusión.

En una reacción de fusión, dos núcleos atómicos ligeros se funden para formar otro más pesado. El proceso de fusión libera gran cantidad de energía que es la fuente de la energía del Sol y de las estrellas.

La fusión tiene algunos aspectos clave que la hacen una opción muy atractiva en un futuro mix de energías: El proceso de fusión es inherentemente seguro, sus residuos no serán una carga para generaciones futuras, no emite gases de efecto invernadero y tiene capacidad para la producción de energía a gran escala.

El objetivo a largo plazo de la investigación en la fusión es aprovechar la energía generada por la fusión de átomos ligeros para cubrir las futuras necesidades de energía de la humanidad. Esta investigación, realizada por científicos de todo el mundo, ha hecho grandes avances en las últimas décadas. La comunidad investigadora en la fusión está preparada para acometer el siguiente paso y ha diseñado conjuntamente el experimento internacional denominado ITER. El objetivo de ITER es demostrar que la fusión podrá ser empleada para la generación de electricidad y obtener la información y experiencia necesaria para diseñar y operar la primera central generadora de electricidad.

En junio de 2005 se decidió por los participantes construir el ITER en Cadarache, en el Sur de Francia.

El paso siguiente después de ITER se ha denominado DEMO y se espera que sea la primera planta que genere electricidad a partir de la energía de fusión. Este desarrollo no se espera que se produzca antes de mediados del presente siglo.

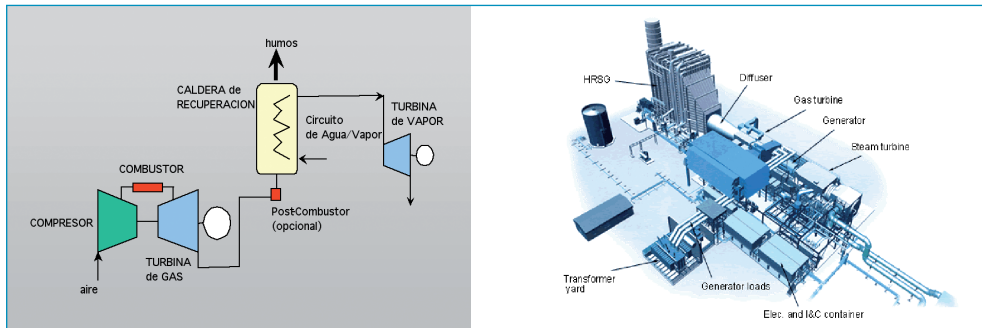
2.4 Centrales de ciclo combinado

Las centrales de ciclo combinado con gas natural como combustible han sufrido un gran desarrollo en los últimos años, a consecuencia de las ventajas que presentan para la producción de electricidad a gran escala frente a las centrales convencionales con otros combustibles fósiles.



Energía en el Siglo XXI

Se denomina ciclo combinado a la instalación que emplea simultáneamente dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema, uno cuyo fluido de trabajo es el vapor de agua y otro cuyo fluido de trabajo es un gas producto de una combustión.



El ciclo de gas genera energía eléctrica mediante una turbina de gas y el ciclo de vapor de agua lo hace mediante una turbina de vapor. El principio en el que se basa es utilizar los gases de escape de la turbina de gas, a alta temperatura, para aportar calor a una caldera o generador de vapor de recuperación, la que alimenta a su vez de vapor a la turbina de vapor. La principal ventaja de utilizar el ciclo combinado es su alta eficiencia, ya que se obtienen rendimientos superiores al rendimiento de una central de ciclo único y mucho mayores que los de una de turbina de gas.

Consiguiendo aumentar la temperatura de entrada de los gases en la turbina de gas, se obtienen rendimientos cercanos al 60%.

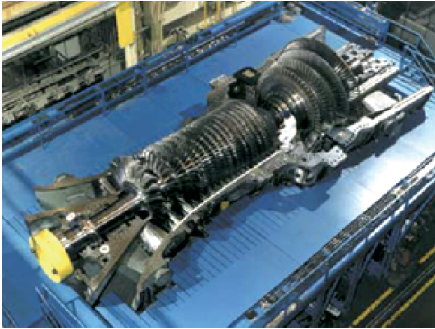
Las centrales de ciclo combinado son las que menos contaminan entre las que producen electricidad por combustión de combustible fósil. Básicamente sus emisiones son de CO_2 . Las emisiones de NO_x y SO_2 son poco significativas, dependiendo estos efluentes gaseosos del tipo de combustible que se quema en la turbina de gas.

Las principales ventajas del ciclo combinado frente a otras tecnologías son las siguientes:

- Mayor simplicidad y menor coste de inversión.
- Menores plazos de desarrollo de proyecto y construcción.
- Rendimiento superior.
- Menores necesidades de agua.
- Menor impacto ambiental por la menor producción de partículas y SO_2 .
- Menor producción de CO_2 por kW generado como consecuencia del mayor rendimiento y de la menor proporción C/H del gas natural respecto al carbón o al fuel-oil.

El rendimiento es más alto debido a que trabajan con temperaturas más altas en los fluidos calientes e inferiores en la evacuación a la atmósfera de los gases de escape.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



Según la disposición de las máquinas en la central los ciclos combinados pueden ser “mono-ejes” o “multiejes”. En los primeros la turbina de gas, la de vapor y el generador están acoplados en un mismo eje y en los segundos cada turbina tiene un generador eléctrico y están en ejes independientes.

Frecuentemente se combinan varias unidades de turbina de gas/caldera de recuperación con una o más turbinas de vapor en un único bloque, siendo una configuración frecuente el 2 X 2 X 1 (dos turbinas de gas, dos calderas de recuperación y una turbina de vapor).

El desarrollo que han sufrido las centrales de ciclo combinado en su diseño ha ido asociado al desarrollo de las turbinas de gas. A su vez el desarrollo de la turbina de gas ha ido encaminado principalmente a la mejora de rendimiento. El principal factor sobre dicho parámetro es la temperatura de los gases de combustión a la entrada a la propia turbina de gas o elemento donde se transforma la energía en par mecánico. Esto ha requerido el desarrollo de materiales cada vez más resistentes a las temperaturas junto con sistemas de refrigeración más sofisticados así como de recubrimientos más resistentes de los álabes fijos y móviles de las primeras etapas de la turbina de gas.

Las centrales de ciclo combinado representan hoy en día una tecnología de referencia por sus ventajas en cuanto a costes de inversión, plazos de desarrollo de proyectos y construcción, flexibilidad de operación y menores emisiones respecto a las centrales de carbón. En su contra se encuentra el precio del gas natural, superior al del carbón y en tendencia creciente.

Los observadores indican que su participación entre las tecnologías de generación va a seguir creciendo en los próximos años.

2.5 Los parques eólicos

La producción de energía aprovechando la energía cinética del viento es lo que denominamos energía eólica. La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, puesto que son las diferencias de temperatura y de presión inducidas en la atmósfera por la absorción de la radiación solar las que ponen en movimiento los vientos. El potencial de aprovechamiento de esta energía es muy considerable.



Energía en el Siglo XXI

Las máquinas diseñadas para aprovechar la energía del viento se denominan aerogeneradores. Existen diversos tipos de aerogeneradores más o menos apropiados según la velocidad del viento en su emplazamiento.

Los aerogeneradores tienen limitaciones de funcionamiento incluso en el caso de que haya viento. Su funcionamiento está limitado a unas velocidades intermedias de viento, por ejemplo entre 3,5 m/s y 25 m/s, siendo que la potencia producida desde la mínima a la nominal aumenta linealmente.

Al instalar un aerogenerador o un parque eólico, se busca fundamentalmente que la energía obtenida sea máxima y que las cargas turbulentas que deben soportar las máquinas, y que acortan su vida, sean lo menores posible. Para determinar las características del viento en un emplazamiento es necesario instalar anemómetros en sitios representativos y durante períodos de tiempo prolongados.

Las partes principales de un aerogenerador son la góndola, el rotor y la torre. La góndola contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. Junto a la góndola se encuentra el rotor, compuesto por las palas y el buje. Las palas del rotor capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador. El eje de baja velocidad conecta el buje del rotor al multiplicador.



En un aerogenerador moderno el rotor gira muy lento, entre 19 y 30 revoluciones por minuto (r.p.m.). El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos. El multiplicador hace que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad. El eje de alta velocidad gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina. El generador eléctrico suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1.500 kW.

La torre soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del suelo. Una turbina moderna de 600 kW tendrá una torre de 40 a 60 metros (la altura de un edificio de 13 a 20 plantas). Las torres pueden ser tubulares o de celosía.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



El controlador electrónico es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación, vigilando la velocidad y la dirección del viento mediante el anemómetro y la veleta. El controlador electrónico conecta el aerogenerador cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s y lo para si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

Existe una gran variedad de modelos de aerogeneradores, diferentes entre sí tanto por la potencia proporcionada, como por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa con la red de distribución convencional). Los aerogeneradores más frecuentes son de eje horizontal en posición “a barlovento” o con el rotor de cara al viento y de tres palas.

Los sistemas más desarrollados consisten en agrupaciones de varios aerogeneradores en parques eólicos, cuyo objetivo es verter energía eléctrica a la red.

Estos parques, pese a generar una energía libre de cargas contaminantes, son causa de múltiples controversias debido a que normalmente se ubican en parajes con alto valor ecológico, causando a veces daños sobre la fauna avícola, además de por su impacto visual. Asimismo, en su conexión a la red eléctrica pueden provocar alteraciones de tensión y frecuencia.

La energía eólica ha experimentado un extraordinario desarrollo en las últimas dos décadas, debido, en gran medida, a que se trata de una tecnología multidisciplinar, muy receptiva de todo tipo de avance técnico y en la que se pueden aplicar casi de inmediato y con gran agilidad los resultados de la investigación en los más variados campos.

2.6 La Energía Solar

La energía solar es la energía producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión.

Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. La intensidad de la radiación solar en el borde

Energía en el Siglo XXI

exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es $1,37 \times 10^6$ erg/s/cm², o unas 2 cal/min/cm². La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Existen dos grupos de tecnologías diferentes para el aprovechamiento de la Energía Solar para la generación eléctrica: La fotovoltaica y la termoeléctrica.

La energía solar fotovoltaica

Consiste en la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica. Se genera electricidad con la simple exposición de una superficie al sol, sin que haya ninguna actividad aparente dentro o alrededor de la superficie expuesta.

Las células solares, hechas con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, convierten la radiación en electricidad de forma directa, al ser liberados por la radiación solar los electrones de la última capa de los átomos del material semiconductor. Esta liberación se produce porque la energía necesaria para desprender esos electrones del material semiconductor es precisamente la de los fotones de la radiación solar.



Para evitar que los electrones liberados vuelvan a recombinarse con los átomos, se crea un campo eléctrico permanente dentro del semiconductor. Este campo eléctrico interno hace que las cargas eléctricas creadas, electrones y huecos vayan a las superficies externas y para poder recoger estas cargas eléctricas se colocan mallas metálicas colectoras superficiales. Este dispositivo así creado es la célula fotovoltaica.

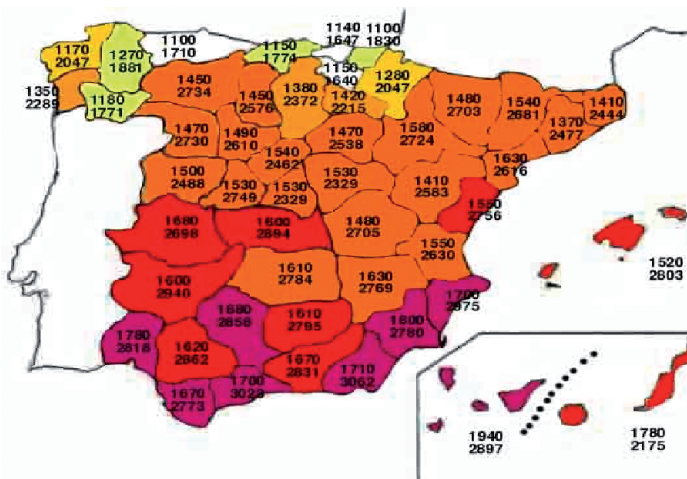
Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

Una sola célula no da suficiente tensión y potencia para las aplicaciones usuales. Para tener más potencia y tensión eléctrica es necesario unir varias células en serie. Las células son frágiles y pueden sufrir oxidaciones y degradaciones en contacto con el aire; por estas razones, se deben encapsular en plásticos transparentes para obtener rigidez y aumentar su resistencia contra los elementos atmosféricos.

Este conjunto de células interconectadas y encapsuladas, a las que se les añade un marco metálico para el montaje y una caja para facilitar la conexión eléctrica con el circuito exterior, constituye un panel o módulo fotovoltaico, que es la unidad básica de generación de un sistema fotovoltaico.

Las células solares se combinan pues en módulos que a su vez se disponen en conjuntos. Estos conjuntos tienen forma de placas planas rectangulares cuya superficie puede superar los 100 m². Se montan a un ángulo fijo orientados al sur (en el hemisferio norte) o bien sobre un dispositivo orientador (seguidor) de uno o dos ejes que sigue la posición del sol, permitiendo capturar el máximo de la radiación solar a lo largo del día.

El funcionamiento de una célula solar se mide en términos de su eficiencia o rendimiento en la conversión de la luz solar en electricidad. Las primeras células solares, construidas hacia 1950, tenían un rendimiento inferior al 4%. Hoy las células fotovoltaicas comerciales tienen rendimientos de alrededor del 15%. Se requieren grandes extensiones para generar cantidades apreciables de electricidad. Es importante mejorar los rendimientos para favorecer la competitividad de esta tecnología frente a las tecnologías tradicionales. Para ello, existen técnicas de concentración de radiación basadas en reflejar parte de la radiación solar que no alcanzaría al panel fotovoltaico, sobre el módulo generador, mediante el uso de espejos convenientemente orientados. De esta forma, el panel recibe la radiación solar procedente directamente del sol y, adicionalmente, la reflejada por los espejos.



Energía en el Siglo XXI

La tecnología fotovoltaica tiene todavía un elevado coste inicial como consecuencia un alto coste del kWh. Esa es, en estos momentos, la razón por la que no se usa de forma más extendida.

La vía imprescindible para que esta energía llegue a tener costes más bajos es conseguir un crecimiento continuo y sostenido de su mercado y una investigación tecnológica permanente.

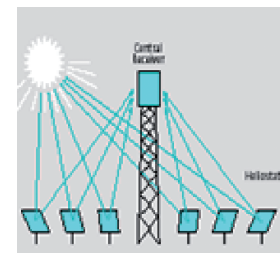
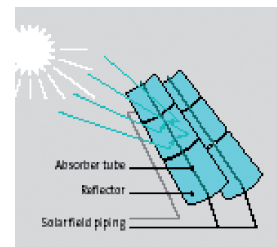
La energía solar termoeléctrica

La tecnología solar termoeléctrica consiste en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido que se hace pasar posteriormente por una turbina, bien directamente, o bien a través de un sistema de intercambio térmico con otro fluido que circula por la turbina.



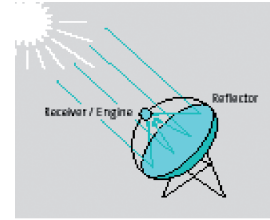
Las centrales termosolares para producción de electricidad implican siempre diseños de sistemas de concentración. Habitualmente se usan concentradores solares por reflexión para alcanzar las temperaturas requeridas en la operación de los ciclos termodinámicos. Los tres conceptos de concentración solar más utilizados son:

- Concentradores cilindro-parabólicos: Son concentradores de foco lineal con seguimiento en un solo eje, concentraciones de la radiación de 30 a 80 veces y potencias por campo unitario de 30 a 80 MW.
- Sistemas de torre o de receptor central: Consisten en un campo de helióstatos que siguen la posición del Sol en todo momento (elevación y acimut) y orientan el rayo reflejado hacia el foco colocado en la parte superior de una torre. Los órdenes de concentración son de 200 a 1.000 y las potencias unitarias de 10 a 200 MW.



Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

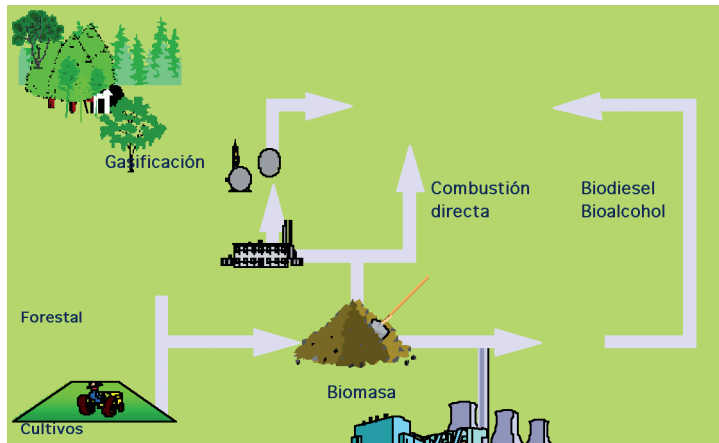
- Discos parabólicos: Son pequeñas unidades independientes con reflector parabólico habitualmente conectado a un motor Stirling situado en el foco. Los niveles de concentración son superiores (1.000-4.000) y las potencias unitarias son de 5 a 25 kW.



Estas tecnologías que todavía tienen unos costes unitarios superiores a las centrales térmicas convencionales, están experimentando un importante avance en España con numerosos proyectos en fase de desarrollo de plantas de 50 MW de potencia, al amparo del RD 661.

2.7 La Biomasa

La Biomasa es la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico, es la abreviatura de masa biológica.



El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

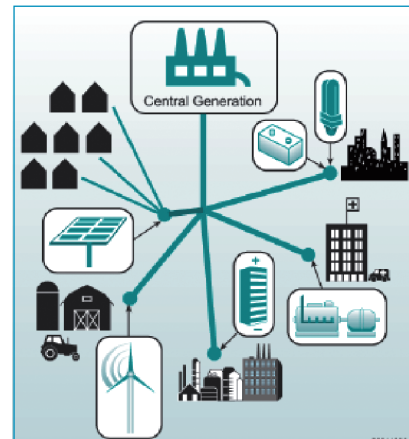
Los combustibles derivados de la biomasa abarcan varias formas diferentes, entre ellas los combustibles de alcohol (mencionados antes en este artículo), el estiércol y la leña. La leña y

el estiércol siguen siendo combustibles importantes en algunos países en vías de desarrollo, y los elevados precios del petróleo han hecho que los países industrializados vuelvan a interesarse por la leña. Por ejemplo, se calcula que casi la mitad de las viviendas de Vermont (Estados Unidos) se calientan parcialmente con leña. Los científicos están dedicando cada vez más atención a la explotación de plantas energéticas, aunque existe cierta preocupación de que si se recurre a gran escala a la agricultura para obtener energía podrían subir los precios de los alimentos.

3. LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La Generación Distribuida es una nueva tendencia en la generación de calor y energía eléctrica que permite a los “consumidores” generar calor o electricidad para sus propias necesidades y enviar la corriente eléctrica sobrante a la red o compartir el exceso de calor por medio de una red de calefacción distribuida.

El término generación distribuida cubre todos los aspectos técnicos y no técnicos del uso cada vez más frecuente de las fuentes de energía renovable y de otras tecnologías de generación a pequeña escala, en redes de distribución. La generación distribuida es esencialmente diferente del modelo tradicional de la central de generación de energía eléctrica. Se puede definir como el empleo integrado o aislado de recursos de generación de electricidad pequeños y modulares por empresas, consumidores institucionales, particulares u otros terceros, en aplicaciones que benefician al sistema eléctrico, al cliente final o a ambos.



En general la generación distribuida reduce las pérdidas de transmisión, estimadas en un orden del 7% en los países de la OCDE, y contribuye a solucionar los frecuentes problemas de congestión de las redes de transporte existentes. La generación distribuida facilita el empleo de sistemas combinados de generación de electricidad y calor mejorando el rendimiento global del sistema. La calidad y fiabilidad de la energía pueden ser mejoradas. Desde el punto de vista de las inversiones es en general más fácil encontrar emplazamientos para instalaciones de energías renovables u otras de generación distribuida que para grandes centrales y éste tipo de unidades pueden ponerse en línea mucho más rápidamente. El riesgo y la exposición de los capitales se reducen y se evita la necesidad de grandes capitales ajustando los incrementos de capacidad al crecimiento local de la demanda.

Entre las tecnologías que es posible asociar con el término Generación distribuida están las fuentes renovables de energía, las plantas de cogeneración y las pilas de combustible estáticas.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

Los recursos de Generación Distribuida ofrecen ventajas que las grandes centrales no pueden aportar. Por ejemplo, la instalación cerca de los consumidores de unidades más pequeñas y flexibles en cuanto al uso de fuentes de energía, evita las pérdidas en los sistemas de transporte y distribución y permite a los clientes una más amplia elección entre sistemas de energía. Los sistemas de energía distribuida ofrecen fiabilidad a las empresas y particulares que necesitan un suministro seguro, y pueden aportar fuentes de energía más baratas en los períodos de picos de precio de venta. Aumentan asimismo la eficiencia mediante el uso del calor residual para calefacción, refrigeración o control de humedad en edificios.

4. NUEVAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

Pilas de combustible

Las pilas de combustible son sistemas electroquímicos en los que la energía de una reacción química se convierte directamente en electricidad. Consisten en un ánodo en el que se inyecta el combustible (hidrógeno o hidrocarburos reformados) y un cátodo en el que se introduce un oxidante (normalmente aire u oxígeno). Los dos electrodos de la pila de combustible están separados por un electrolito iónico conductor.



El sistema opera con dos tipos de gases, combustible y oxidante, que pasan a través de las superficies del ánodo y cátodo opuestas al electrolito, respectivamente, y generan energía eléctrica por oxidación electroquímica del combustible y la reducción electroquímica del oxidante. Se transforma entonces la energía química, almacenada en el enlace H-H de la molécula H_2 , en energía eléctrica y vapor de agua.



Energía en el Siglo XXI

Los sistemas de pilas de combustible se caracterizan por sus reducidas emisiones. Si sólo se utiliza hidrógeno como combustible en las celdas, se obtiene vapor de agua y electricidad. La utilización de hidrocarburos para la producción de hidrógeno elimina prácticamente las emisiones de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.

Las principales dificultades que tienen las pilas de combustible para su desarrollo son su duración y sus costes.

El hidrógeno como vector energético

Actualmente el gas natural constituye la principal materia prima para su conversión en hidrógeno, utilizado en aplicaciones de demostración en el área del transporte. La generalización en el uso del vector hidrógeno, no sólo en esta área sino también en aplicaciones térmicas industriales y de generación de electricidad, se plantea a través de reacciones de gasificación del carbón. El gas de síntesis generado se transformaría en hidrógeno en sucesivas etapas catalíticas.

Para la consecución de una máxima eficiencia se plantean integraciones de procesos de generación de hidrógeno y de energía eléctrica. Los rendimientos globales citados como obtenibles son del orden del 60 al 75% y en el proceso se generaría dióxido de carbono que debería ser confinado. Sin embargo, este confinamiento permitiría dotar al vector hidrógeno producido de una combustión libre de emisiones.

5. IMPACTO EN EL MEDIOAMBIENTE Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

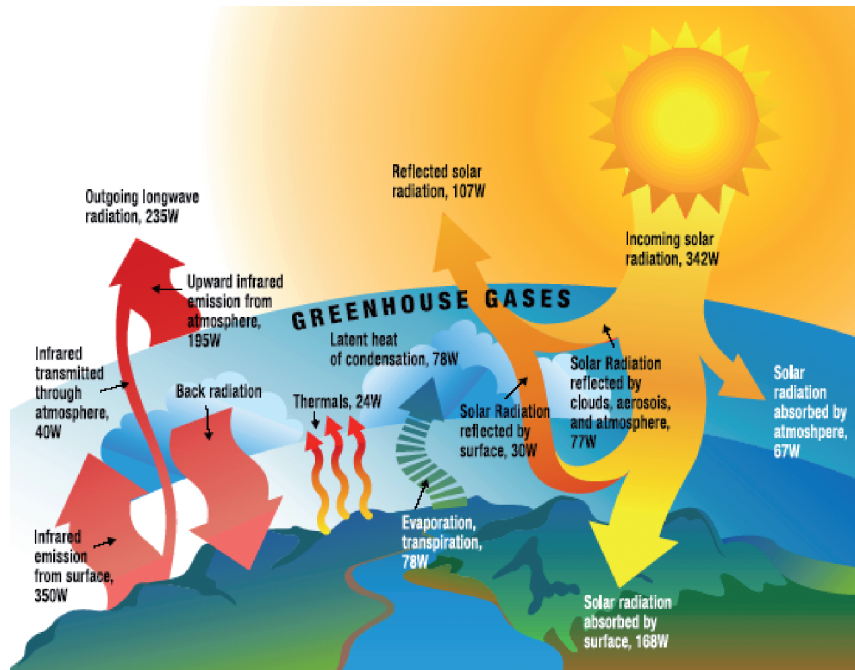
Los efectos ambientales de la generación de electricidad difieren según la fuente primaria, las tecnologías y la situación y el entorno de las instalaciones.

Esencialmente, estos efectos se derivan de la utilización y agotamiento de recursos naturales; de las emisiones realizadas (combustión), de los vertidos originados; de los residuos convencionales y radiactivos producidos y del riesgo de ocurrencia de accidentes graves con impacto en el entorno.

Un análisis completo de los efectos ambientales asociados a cada tecnología concreta exige considerar:

- Todas las actividades: extracción y transporte de combustible, generación y transporte de la electricidad y disposición de los residuos generados.
- Todo el ciclo de vida de las instalaciones de generación; la construcción de las infraestructuras, equipos e instalaciones necesarias. Su operación y mantenimiento y su desmantelamiento.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



En términos generales, las tecnologías eólicas son ambientalmente positivas. Pero no todos los emplazamientos son igualmente adecuados desde el punto de vista ambiental, por lo que los resultados son muy variables, al considerar el impacto sonoro y en el entorno natural.

La energía nuclear comporta bajos efectos ambientales. Su origen reside esencialmente en la probabilidad de accidentes, muy baja pero de graves consecuencias, y en los impactos del ciclo del combustible.

Existe una gran diversidad de tecnologías de utilización de la biomasa. Por ello, el efecto ambiental global puede variar suponiendo desde bajos hasta altos costes externos.

La generación fotovoltaica es muy limpia en su utilización, pero la consideración de su ciclo de vida total supone unos costes externos apreciables.

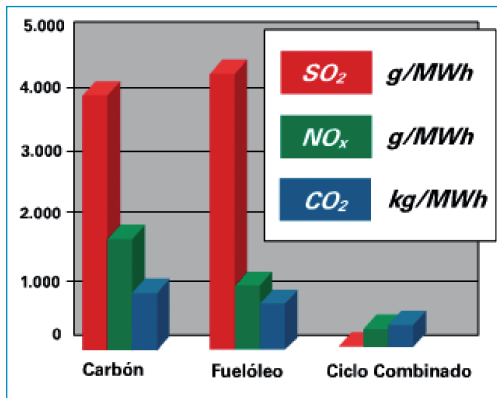
Las tecnologías basadas en la utilización de gas natural son relativamente limpias en relación con la emisión de contaminantes. Las tecnologías de ciclo combinado contribuyen, por su rendimiento elevado, a la reducción de estas emisiones. Sus costes externos ocupan una posición intermedia.

La utilización del carbón supone las mayores emisiones de gases de efecto invernadero así como emisiones de otros gases contaminantes y de partículas. Sus costes externos son elevados. Sin embargo, la abundancia del combustible y la distribución de las reservas pueden compensar dichos costes.

Energía en el Siglo XXI

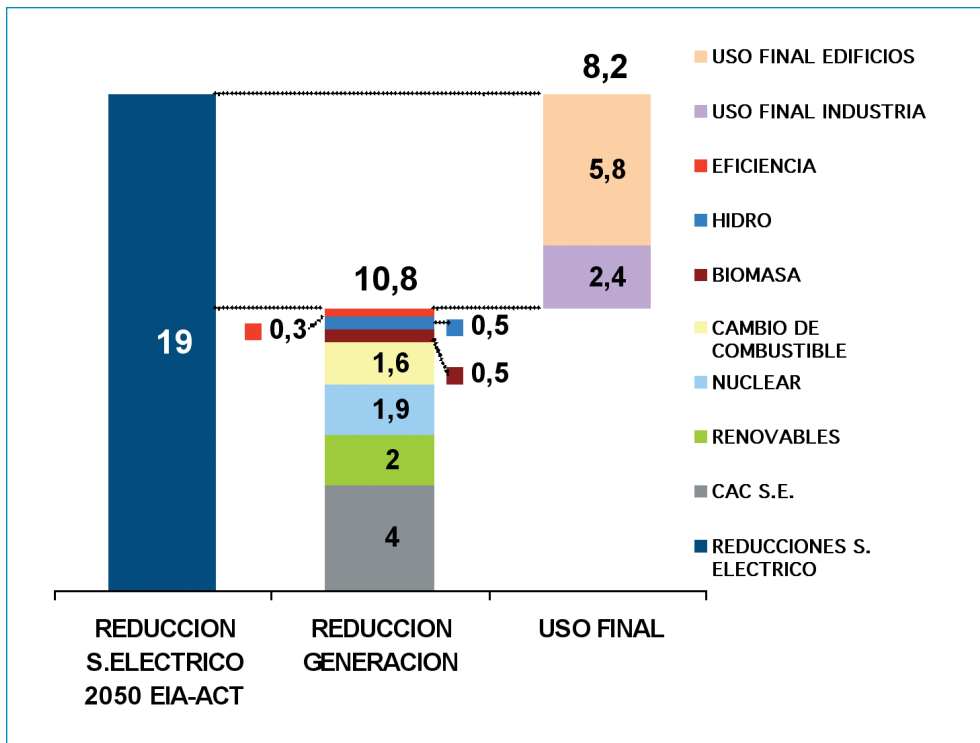
En la generación de electricidad las tecnologías de combustión ocupan actualmente un lugar preponderante. A nivel mundial aportan más del 65% de la producción. A nivel de España esta aportación es inferior, alrededor del 50%.

Estas tecnologías suponen dos efectos ambientales clave: agotamiento de recursos y generación de emisiones. La generación de emisiones es un efecto propio de la combustión. Por su propia naturaleza la combustión de recursos fósiles produce dióxido de carbono, gas de efecto invernadero cuyos efectos se manifiestan a nivel global.



Adicionalmente, la combustión puede generar otros gases y partículas contaminantes con efectos sobre el medio a nivel local.

Para la mitigación de los efectos adversos una primera línea de actuación es la potenciación de fuentes energéticas primarias con menores costes ambientales, a través del desarrollo tecnológico y el apoyo administrativo.



Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

A nivel español, esta potenciación se manifiesta en la existencia de un Régimen Especial de producción de Electricidad que se aplica a la producción de electricidad con energías renovables y mediante procesos de cogeneración. Regulado desde 1980, los posteriores desarrollos legislativos mantienen un régimen de promoción.

A nivel europeo, esta potenciación de las energías renovables se revela en una directiva que define directrices generales y fija objetivos a nivel nacional. El objetivo para España en 2010 es de una participación de las renovables del 29,4% de la producción eléctrica (19,9% en 1997).

La energía nuclear

La energía nuclear aporta una importante contribución a la generación de electricidad y puede permitir una reducción en la utilización de energías fósiles. La aceptación pública de esta fuente energética es la mayor dificultad actual para su desarrollo. Desde el punto de vista ambiental los retos más importantes se dirigen a mejorar su ya muy elevado nivel de seguridad y a materializar soluciones definitivas de disposición de residuos.

La mejora en las tecnologías de generación eléctrica con combustibles fósiles. La mejora del rendimiento

Un aumento en el rendimiento permite preservar mejor los recursos existentes, reducir costes de materia prima y reducir emisiones. Un aumento de un rendimiento del 35% a rendimientos próximos al 60% puede suponer una reducción de emisiones y de consumo de combustible de alrededor del 40%.

La implantación de ciclos combinados tiene este efecto. Adicionalmente, el desarrollo de pilas de combustible con utilización de vectores energéticos, derivados de los combustibles fósiles (hidrocarburos o hidrógeno) puede también contribuir a esta mejora de rendimiento.

La cogeneración, o producción combinada de energía eléctrica y calor útil, supone la aportación de una mayor eficiencia energética global al ciclo de generación de electricidad. Sus efectos son equivalentes a una mejora en el rendimiento y suponen una reducción del combustible utilizado. La cogeneración está promovida en España a través de su inclusión en el Régimen Especial de Producción de Electricidad.

La reducción de emisiones contaminantes

Las emisiones contaminantes (óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas y metales pesados) se derivan de contaminantes contenidos en el combustible o de procesos asociados a la combustión.

La emisión de partículas está ligada a la cantidad de inquemados producidos en el proceso de combustión. Estas técnicas operan sobre los gases de combustión producidos y alcanzan en la actualidad eficiencias que pueden llegar hasta el 99,9%, aunque varían con el

Energía en el Siglo XXI

tamaño de las partículas contenidas (eficiencia mayor a mayor tamaño de partícula). Además de la emisión total de partículas, su espectro de tamaños determina sus efectos (tamaños menores presentan mayores efectos sobre los seres vivos). De aquí la importancia concedida a las partículas de menor tamaño.

Los mecanismos empleados están basados en tres tecnologías:

- Precipitadores electrostáticos. Son los elementos más comúnmente utilizados. Su eficiencia puede alcanzar el 99,5% en partículas grandes y el 96,5 en pequeñas.
- Filtros de mangas. Consiguen eficiencias muy altas, tanto para partículas grandes (99,5%) como pequeñas (99,6%), aunque tienen problemas por pérdida de carga.
- Sistemas de lavado húmedo. Basados en la pulverización de agua sobre los gases de combustión para el arrastre de las partículas contenidas (eficiencias de 99,9% las partículas grandes, 98,5% las pequeñas).

La emisión de óxidos de azufre está ligada a la cantidad de azufre contenido en el combustible. Son sobre todo los combustibles sólidos los que presentan esta problemática.

Las técnicas de reducción secundaria de emisiones de dióxido de azufre operan sobre los gases de combustión producidos y llegan a alcanzar eficiencias del 90-95%.

La técnica más utilizada es el lavado húmedo con lechada de caliza. Implica una gran utilización de caliza. Es importante que el producto obtenido esté constituido esencialmente por yeso y que sus características permitan su utilización.

Junto con las técnicas de lavado húmedo, se plantean técnicas semi-secas o secas, basadas en la adición de lechadas concentradas de hidróxido cálcico a los gases de combustión.

La emisión de óxidos de nitrógeno es esencialmente independiente de la composición del combustible, puesto que el nitrógeno que interviene es el atmosférico.

La reducción primaria de la producción de NO_x se basa en la reducción de la temperatura de combustión lo que puede suponer una reducción de rendimiento y en la reducción del exceso de aire de combustión, lo que puede conducir a combustión incompleta.

De acuerdo con estos principios los quemadores de bajo NO_x se basan en adecuar la distribución de aire, la recirculación de los gases de combustión o la distribución de combustible, con un mismo objetivo: llevar a cabo una combustión a alta temperatura y déficit de oxígeno, para luego completarla a baja temperatura. Estas tres alternativas conducen a reducciones del 65% en las emisiones.

La reducción a menores niveles puede realizarse mediante medidas aplicadas a los gases resultantes de la combustión: reducción selectiva catalítica (SCR) y no catalítica (SNCR). Ambas están basadas en la adición a los gases de combustión de amoníaco (o de urea) como agente reductor que reacciona formando nitrógeno molecular y agua. En ambos casos se pue-

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

den llegar a obtener muy bajas tasas de emisión. La reducción selectiva catalítica permite obtener reducciones del 95%.

Metales pesados: El mercurio

Las tecnologías de filtración y de reducción de óxidos de azufre, tanto en vía húmeda como en vía seca, suponen una captación sustancial de mercurio. La incorporación adicional de los sistemas de reducción catalítica incrementa considerablemente la retención de mercurio, que puede llegar hasta cifras del 80%.

6. EL CO₂ Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El dióxido de carbono ha sido siempre un compuesto presente e importante en nuestra atmósfera. Sin embargo, si su incorporación a la atmósfera es de tal magnitud que conduce a incrementar sensiblemente el porcentaje en que participa en su composición, puede contribuir a modificar, de forma global, su comportamiento.

El dióxido de carbono es el más característico de los gases de efecto invernadero. Otros gases, como el metano y el óxido nitroso, y los aerosoles sulfurados CFC's, contribuyen al mismo efecto.

El informe de 2001 del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) puso de manifiesto el incremento en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, que evaluó en el 31% desde el inicio de la revolución industrial (1750). Asimismo, analizó las consecuencias de este incremento: aumento de la temperatura de la superficie terrestre, del nivel del mar, disminución de la capa de nieve y hielo, mayor incidencia de situaciones climáticas extremas. Finalmente el informe del IPCC considera opciones de reducción y mitigación de emisiones.

La necesidad de limitar las emisiones está en el origen de la Cumbre de Río, la Convención Marco de las Naciones Unidas o el protocolo de Kyoto. En un contexto de colaboración internacional, el objetivo inicial era volver en 2000 a los niveles de emisión de 1990. En Kyoto (1997) se plasmó la necesidad de un esfuerzo mayor. Para el periodo 2008-2012, los países desarrollados deben reducir de forma global sus emisiones un 5% respecto a 1990. La UE, máximo valedor del protocolo, se comprometió a rebajar sus emisiones en un 8%.

La necesidad de reducción de emisiones a nivel global se inserta en un contexto de gran desigualdad mundial en riqueza, consumo de energía y generación de emisiones. Por ello, son los países desarrollados los que deben soportar la reducción de emisiones, de forma que los países en vía de desarrollo no vean coartado su derecho a un desarrollo económico equivalente.

El cumplimiento de los compromisos de la Unión Europea en el Protocolo de Kyoto exige actuaciones para mantener la reducción global del 8% aceptada. La Directiva afecta a sectores prioritarios por sus emisiones de dióxido de carbono (45% del total): actividades energéticas,

siderurgia, producción de cemento, vidrio y cerámica, producción de pasta de papel y cartón. El sistema distribuye a cada empresa de los sectores afectados unos derechos de emisión.

Para sobrepasar estas emisiones cada empresa deberá adquirir a otra los derechos de emisión necesarios. Se crea así un mercado de derechos de emisión a nivel general de la Unión Europea. Este mercado debe fomentar la reducción de emisiones de dióxido de carbono, con el mínimo coste global, esencialmente a través de una reducción en la utilización de combustibles fósiles.

El desarrollo de la generación de electricidad con tecnologías de combustión en un contexto de reducción de emisiones de dióxido de carbono queda ligado a la posibilidad de confinar el dióxido de carbono producido. Para hacerlo viable es necesario capturarlo, aumentando su concentración en los gases de combustión. En este sentido se desarrollan tres líneas tecnológicas de actuación:

Captura post combustión

La más probada en este apartado es el lavado con monoetilamina (MEA). La amina absorbe el CO₂ para luego, por calentamiento, expulsar una corriente concentrada. De esta forma puede obtenerse una captura de hasta el 98% del CO₂, con una pureza del 99%.

Captura pre-combustión

La gran cantidad de gases a tratar por los procedimientos post combustión plantean esencialmente la posibilidad de conversión del combustible en hidrógeno, captando el dióxido de carbono generado en esta conversión.

Combustión con oxígeno

La concentración de dióxido de carbono en los gases de combustión puede aumentarse hasta cifras del 80% enriqueciendo en oxígeno el comburente utilizado. La tecnología que emplea este principio se denomina oxicomustión.

Para el confinamiento del dióxido de carbono se consideran tres alternativas:

- Confinamiento marino por disolución a unos 1000-2000m de profundidad.
- El mar contiene 50 veces más dióxido de carbono que la atmósfera pero pequeñas alteraciones en sus equilibrios bioquímicos podrían, como en la atmósfera, ser causa de efectos importantes.
- El confinamiento terrestre de dióxido de carbono en estructuras geológicas profundas cuenta con el precedente a pequeña escala del almacenamiento de gas natural. Tradicionalmente se ha considerado la utilización de los propios yacimientos agotados de gas y de acuíferos profundos.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

- El confinamiento mineral se plantea básicamente como la carbonatación de silicatos de calcio y magnesio. Una vez confinado su almacenamiento podía realizarse por relleno de la propia cantera del material base.

El confinamiento del dióxido de carbono tendrá una repercusión significativa en el coste total del kWh de electricidad lo que dará más oportunidades a las tecnologías que no liberan CO₂ como las renovables o la nuclear.

7. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Hoy dependemos en gran medida de los combustibles fósiles para resolver la inmensa mayoría de nuestras necesidades. Ello nos permite gozar de un alto nivel de vida, pero con consecuencias cada vez más apreciables, desde los problemas de suministro, a la amenaza del cambio climático o la realidad cotidiana de la contaminación atmosférica. Hay problemas de abastecimiento y recursos, pero sobre todo el límite de la capacidad de la atmósfera para absorber el dióxido de carbono que se emite en la combustión del carbón, el petróleo y el gas natural. El límite real puede que no sean los recursos, sino los sumideros.

A lo largo de este siglo habrá que realizar la transición energética ordenada y gradual hacia un modelo energético descarbonizado y cada vez más eficiente y al que tengan acceso no sólo los países con más recursos.

La energía es un bien costoso en parte derrochado, tanto por la utilización de tecnologías poco eficientes como por prácticas de consumo poco económicas. Este derroche se traduce en costes, sin generar ningún beneficio, ni en el punto de producción ni en el de consumo, dando lugar a una pérdida de recursos que podrían utilizarse con otros fines.

Ahorrar energía a un coste razonable significa una menor dependencia de las importaciones de terceros países, un mayor respeto al medio ambiente y una reducción de costes. Además, el ahorro de energía supone una rebaja considerable de la factura energética de los hogares y, por tanto, tiene un impacto directo en la vida cotidiana de todos los ciudadanos.

Puede conseguirse un mejor aprovechamiento de la energía, por un lado, mediante la mejora de la eficiencia energética y, por otro, mediante cambios en el comportamiento de los usuarios.

El rendimiento energético depende esencialmente de las tecnologías utilizadas. Por tanto, mejorarlo significa utilizar las mejores tecnologías para consumir menos, tanto en el consumo final como en la fase de producción de energía.

Ahorrar energía en sentido general implica también un cambio en el comportamiento de los consumidores.

La eficiencia energética se puede considerar un recurso que debe ser empleado para contribuir a resolver los efectos adversos que acarrea el uso de la energía. Todos podemos contribuir a reducir el consumo de energía haciendo un uso más racional.

8. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS. PERSPECTIVAS

Las previsiones realizadas por organismos internacionales no van más allá de 2030 o, como mucho 2050. Tales previsiones dibujan escenarios que suponen a nivel global, bien continuar con las tendencias actuales de la actividad económica, con un moderado esfuerzo por reducir las emisiones de CO₂ o bien escenarios más agresivos hacia una reducción de emisiones más generalizada así como una implantación decidida de la economía del hidrógeno.

Para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a niveles que prevengan una peligrosa interferencia con el sistema climático, es preciso tomar acciones de manera urgente. Según *World Energy Outlook 2007*, las medidas consideradas actualmente por los gobiernos alrededor del mundo podrían llevar a niveles de estabilización de emisiones globales en la década de 2020 y reducir los niveles hacia 2030. Asumiendo reducciones continuadas a partir de 2030 el escenario sería compatible con una estabilización de la concentración de CO₂ en la atmósfera en 550 ppm. De acuerdo con las mejores estimaciones del panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), esto correspondería a un incremento medio de temperatura de 3°C sobre los niveles pre-industriales. Conseguir limitar el incremento a niveles más bajos necesitaría de una acción más decidida. Las reducciones de emisiones necesarias provendrían de mejoras de eficiencia en el uso de los combustibles fósiles en la industria, edificios y transporte; mayor presencia de la energía nuclear y de las renovables, y un despliegue generalizado de la captura y confinamiento del CO₂ producido en generación y en la industria. Para hacer esto una realidad son precisas acciones políticas excepcionalmente rápidas y vigorosas por todos los países y avances tecnológicos sin precedentes con un coste sustancial.

Las acciones gubernamentales deben concentrarse en invertir la tendencia al rápido crecimiento en las emisiones de CO₂ en centrales térmicas de carbón, principal causa del incremento a nivel global en los pasados años. La eficiencia energética y la conservación deberán jugar un papel principal en limitar la demanda de energía. La energía nuclear y las renovables pueden también tener una gran contribución en reducción de emisiones. La tecnología de carbón limpio con captura y confinamiento (CCS) es una de las rutas más prometedoras para la reducción de emisiones a largo plazo, especialmente en China, India y Estados Unidos, donde el empleo del carbón está creciendo con más rapidez. CCS podría a largo plazo reconciliar la combustión continua de carbón con la necesidad de reducir emisiones, siempre que la tecnología pueda ser demostrada a gran escala y se establecen incentivos adecuados a las correspondientes inversiones.

Según diversos expertos, ninguna de las tecnologías disponibles en la actualidad tiene el potencial de provocar una transformación a corto plazo. No obstante, en un horizonte a 25 años, las perspectivas pueden ser diferentes. La introducción de una tecnología nueva es un proceso que históricamente ha necesitado cerca de 25 años. Ese ha sido el caso de las turbinas de gas, la combustión de carbón en lecho fluido y la tecnología nuclear. Es claro que las tecnologías que configurarán una transformación están probablemente ya entre nosotros.

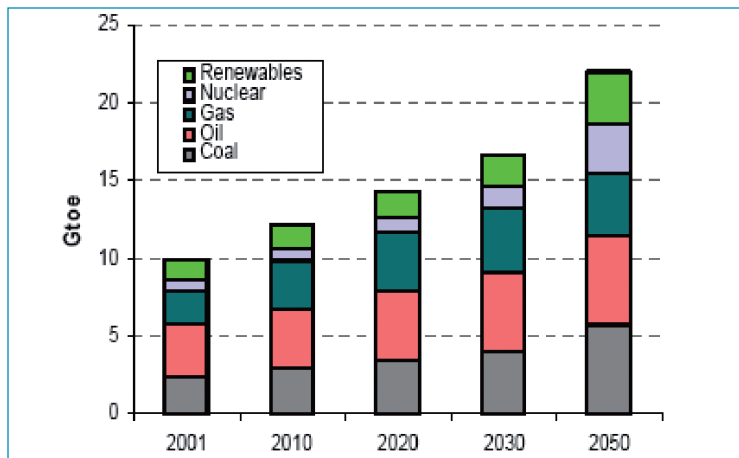
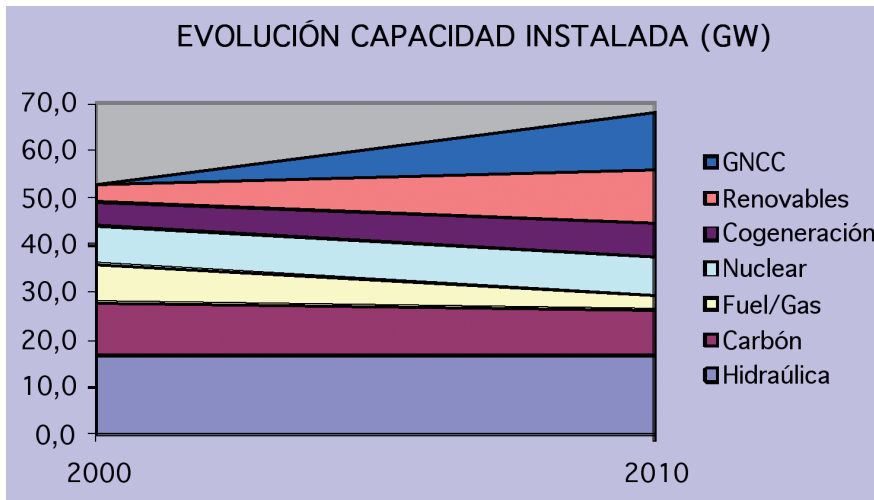
Mientras la tecnología está en constante desarrollo, todas las tecnologías de generación viables actualmente son variantes o refinamientos de tecnologías que han existido desde hace muchos años. Un buen ejemplo sería la tecnología de gasificación integrada en ciclo combi-

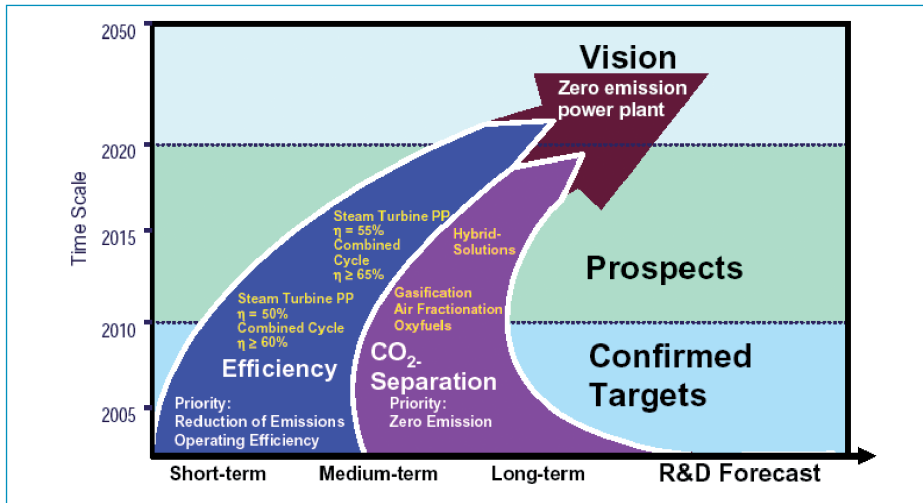
Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

nado (GICC): Ha estado presente desde hace muchos años y promete reducir significativamente las emisiones de SO₂, NO_x y partículas, aumentar el rendimiento y así reducir las emisiones de CO₂, a la vez que facilitar la captura de las restantes.

Se espera un desarrollo importante de la energía nuclear con la llegada de las nuevas generaciones que incrementan la seguridad mediante el empleo de sistemas pasivos y reducen los costes y plazos necesarios para la construcción de las centrales.

De las energías renovables la eólica y la solar termoeléctrica ofrecen la posible utilización a gran escala. Los aerogeneradores se consideran cercanos a la rentabilidad entre las fuentes de energía renovables pero todavía necesitan de un soporte legislativo y de precios. Este soporte se espera que continúe favoreciendo el desarrollo de los parques eólicos. La energía solar termoeléctrica puede empezar a utilizarse a gran escala. Las legislaciones deben seguir favoreciendo la tendencia al uso de tecnologías alternativas.





9. LA INGENIERÍA CIVIL EN LAS CENTRALES ELÉCTRICAS

La Ingeniería Civil se conoce como la rama de la ingeniería que aplica los conocimientos de física, química y geología a la elaboración de infraestructuras, principalmente edificios, obras hidráulicas y de transporte, en general de gran tamaño y para uso público.

En los proyectos de las centrales eléctricas, la ingeniería civil desempeña un papel fundamental, teniendo bajo su responsabilidad el diseño y construcción de todas las estructuras necesarias para la sustentación de los sistemas, equipos y componentes, así como de los diversos edificios e infraestructuras que permiten que se desarrollen todas las actividades necesarias para la explotación. Para ello, el ingeniero civil se enfrenta a una gran variedad de problemas, cuya resolución requiere de un conocimiento profundo de la geología. Los problemas de cimentación son esencialmente geológicos. Los edificios y estructuras se sustentan sobre algún material natural.

Dependiendo de los materiales existentes en el subsuelo es preciso seleccionar el mejor método de cimentación para garantizar que las estructuras se mantengan en su posición de manera estable durante toda la vida de la central y que los equipos con piezas en movimiento rotatorio puedan funcionar sin desarrollar vibraciones inadmisibles.

El material que tiene mejores propiedades de sustentación es la roca. Cuando los materiales existentes tienen poca capacidad portante es preciso emplear cimentaciones especiales que suelen ser costosas y provocan un impacto económico significativo en el presupuesto de construcción de la central.

El grado de complejidad que reviste el diseño de las diferentes estructuras de una central eléctrica es muy diferente según el tipo de tecnología y las cargas principales que es preciso sustentar. Un parque eólico tiene pocas estructuras, siendo la principal la cimentación del ae-

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible



rogenerador que recibirá los esfuerzos de la acción del viento a través del fuste. Sin embargo, en el diseño de una central nuclear es preciso diseñar estructuras muy complejas con funciones de seguridad y sometidas a las cargas generadas por los accidentes de diseño. Un ejemplo es la contención del reactor. Para el diseño de estas estructuras se emplean métodos sofisticados.

En una central nuclear no es admisible la degradación de las estructuras de aquellos edificios que tienen por sí mismos funciones de seguridad o que contienen sistemas y equipos con funciones de seguridad, siendo preciso calcularlos y diseñarlos para soportar todos los esfuerzos estáticos y dinámicos previsible en los accidentes que se consideran base de diseño de la central, según las normas aplicables.

Otras infraestructuras que deben diseñarse y construirse comúnmente en las centrales eléctricas son las estructuras de captación de agua y descarga de efluentes, los drenajes de pluviales, los viales, los ajardinamientos, los vallados perimetrales y puertas de acceso, los caminos de acceso, estacionamientos, oficinas y otros edificios no técnicos, etc.

Cuando las centrales se sitúan en puntos de la costa y emplean agua de mar para refrigeración, es preciso construir estructuras de toma y descarga que en parte estarán sumergidas, y que frecuentemente dispondrán de emisarios de longitud suficiente para asegurar una adecuada difusión térmica de las descargas, pudiendo llegar a varios kilómetros.



En las centrales hidroeléctricas se diseñan y construyen las presas, de diverso tipo en función de la geología y orografía de la cuenca en la que se construyen. Otras dificultades típicas son la excavación de cavernas en las centrales que se encuentran alojadas en éstas y de túneles.

10. CONCLUSIONES

Las tecnologías que tendrán presencia en el mercado de generación de electricidad en los próximos años serán las que están ya hoy presentes. Todas ellas sufrirán mejoras para incrementar su eficiencia, reducir sus costes y reducir el impacto sobre el medioambiente que producen.

Las consideraciones medioambientales serán el principal impulsor de las nuevas tecnologías energéticas o del desarrollo de las actuales. Las tecnologías avanzadas que se están des-

Energía en el Siglo XXI

arrollando actualmente podrían alterar drásticamente los patrones de inversión y los requisitos a largo plazo. Las tecnologías de captura de carbono podrían aumentar significativamente la inversión en el sector de generación de electricidad en los países desarrollados, pero todavía tienen que resolver problemas medioambientales, de seguridad, legales y de aceptación pública.

Áreas en las que se espera importantes logros técnicos a largo plazo son los sistemas de generación nuclear y el almacenamiento, la conducción y distribución de electricidad.

Es probable que las centrales nucleares desempeñen un papel preponderante entre las tecnologías de generación por su abundancia de recursos y su reducido impacto medioambiental. La energía nuclear de fusión, alternativa para la generación limpia de electricidad a gran escala, podría ver el inicio de su utilización comercial.

Durante el presente siglo podría extenderse la utilización del hidrógeno como vector energético tanto para el transporte como para la generación de electricidad, haciendo realidad la denominada economía del hidrógeno. Pasarán a la historia los problemas de emisiones contaminantes que hoy sufrimos, siempre que se desarrollen tecnologías de obtención sin liberación de dióxido de carbono u otros contaminantes y para su empleo seguro.

La Eficiencia Energética se extenderá como principio, pasando a formar parte de nuestra cultura, cambiando nuestros hábitos y costumbres y la valoración que hacemos de nuestra interacción con el entorno.

Por último, la ingeniería civil deberá seguir haciendo frente a los retos que conlleve la construcción de nuevas infraestructuras, contribuyendo con el desarrollo de nuevos procedimientos de construcción, nuevos materiales y nuevos métodos de cálculo y diseño, a que sean menos costosas y más eficientes.

11. BIBLIOGRAFÍA

- 11.1 Mix de generación en el sistema eléctrico español en el horizonte 2030. Foro Nuclear. 2007
- 11.2 La Generación Eléctrica en el Siglo XXI. Instituto de la Ingeniería de España. 2005.
- 11.3 Cómo hacer más con menos. Libro Verde Sobre la Eficiencia Energética. Dirección General de Energía y Transportes. Comisión Europea. 2005.
- 11.4 New ERA for electricity in Europe DISTRIBUTED GENERATION: KEY ISSUES, CHALLENGES AND PROPOSED SOLUTIONS. Directorate-General for Research. European Community 2003.
- 11.5 Generación de Electricidad y Medioambiente. El Reto de la Sostenibilidad. Ricardo Granados García. Anales de Mecánica y Electricidad. Noviembre – diciembre 2005.
- 11.6 Energía Nuclear. El Recorrido de la Energía. Foro Nuclear. 2004.

Ingeniería Civil para un Mundo Sostenible

11.7 Tecnologías para la innovación en la generación de energía eléctrica. Fundación COTEC. 2003.

11.8 World Energy Outlook 2007. China and India Insights. International Energy Agency. 2007.

11.9 World Energy Technology Outlook - 2050. WETO – H2. EUROPEAN COMMISSION. Directorate-General for Research. 2006.