

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADÉMICO 2008-2009

LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 29 DE OCTUBRE DE 2008

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. ADRIANO GARCÍA-LOYGORRI Y RUIZ

SOBRE EL TEMA

**CUESTIONES SOBRE LOS RECURSOS
MINERALES Y EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELÉFONO 917 014 230
2008

Depósito legal: M. 48.800-2008

Impreso en Realigraf, S. A - Pedro Tezano, 26. 28039 Madrid

1. PREÁMBULO

Al inicio de esta intervención quisiera que mis primeras palabras sirvieran para manifestar a esta Casa mi agradecimiento por el muy grato encargo que he recibido de pronunciar el discurso inaugural del Año Académico 2008/2009 de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Año Académico que hace el número 161 desde que fuera creada en el año 1847.

Un segundo deseo de este preámbulo es saludar con todo afecto a nuestro compañero D. José Javier Etayo, que ya no seguirá en el nuevo curso ocupando el cargo de Secretario General de la Academia, al cesar en el mismo por voluntad propia, tras dieciséis años de ejercicio y de fructífera dedicación en el puesto, como lo han atestiguado los sucesivos Presidentes con los que ha colaborado directamente y cuantos académicos hemos tenido ocasión de trabajar con él. De ahí que aproveche esta ocasión para mostrarle mi admiración y agradecerle su entrega a la Casa, y a través suyo, a cuantos nos integramos en ella.

* * *

Tal y como rezan sus Estatutos, además de tener por objeto el fomento del estudio y de la investigación fundamental sobre las ciencias matemáticas, físicas, químicas, geológicas y biológicas, para propiciar la más amplia propagación de su conocimiento desde sus comienzos nuestra Academia ha venido dirigiendo igualmente sus afanes hacia las aplicaciones de estas ciencias y, con ello, a su difusión y aprovechamiento en bien de una cada vez mayor proximidad en estos ámbitos a la Sociedad a la que está sirviendo desde tanto tiempo atrás.

Pues bien, en apoyo de lo que acabo de indicar, me voy a permitir distraer su atención, siquiera sea de manera sucinta por la brevedad que impone una ocasión como ésta de hoy, para apuntar unas consideraciones en torno a una candente actualidad como es la que se refiere al aprovechamiento de los recursos minerales, dentro del ya muy difundido contexto del desarrollo sostenible, con el que cada vez en mayor medida debemos comprometernos de cara al futuro. Con ello creo que no hago sino proseguir con la atención que desde muy antiguo ha puesto esta Casa en la aplicación de las Ciencias de la Tierra para el mejor conocimiento de nuestros depósitos minerales, sabedores de la trascendencia de esas Ciencias para el disfrute científico, técnico y económico de una de las principales riquezas que alberga nuestro subsuelo.

Siendo esto así, creo que varios acontecimientos que se han venido sucediendo en los últimos meses, abundan en la oportunidad del tema elegido, por cuanto que suponen una llamada a una recomendación sobre la valoración y utilización de unas materias primas con las que la sociedad ha estado tan vinculada desde los tiempos más remotos de la historia del Hombre.

Me refiero, por un lado, a la proclamación por la Asamblea General de Naciones Unidas, del año 2008 como Año Internacional del Planeta Tierra, bajo el lema «Ciencias de la Tierra para la Sociedad». Al abarcar su ámbito de actuación el amplio espectro de disciplinas científicas que conducen al conocimiento del planeta que habitamos, junto con el de los procesos que han regido su evolución a lo largo de los tiempos, las Ciencias de la Tierra nos procuran la información necesaria para el mejor aprovechamiento de los recursos naturales que precisamos para vivir, así como la comprensión de los fenómenos geológicos de distinto tipo que pueden incidir en la calidad de vida del Hombre en la Tierra.

De ahí que la celebración del Año Internacional del Planeta Tierra, entre otros asimismo relevantes, declare como hitos que guardan relación con los recursos naturales y el Hombre, la necesidad de alcanzar un consumo responsable de unos recursos como éstos, que no pueden considerarse inagotables; el cambio climático, de tan destacada actualidad, en el que tienen tan trascendente protagonismo los combustibles fósiles; las aguas subterráneas, como solución para un planeta sediento, y, por último, la planificación urbana y el crecimiento de las ciudades como principales focos que son de un consumo creciente de recursos, motivado por su mayor nivel económico

y el acusado aumento de sus poblaciones, consecuencia en buena medida del auge de la migración procedente de la población rural.

Por guardar una íntima vinculación con un conjunto de recursos minerales, como son los combustibles fósiles, el segundo acontecimiento al que quiero referirme es el de las reuniones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (I.P.C.C.), celebradas en Bangkok, Valencia y Bali en los meses de mayo, noviembre y diciembre de 2007, respectivamente, en las que se ha dado a conocer su IV Informe de Evaluación en relación con ese fenómeno. Con la participación de más de 2.500 expertos participantes de más de 60 países, el I.P.C.C. recoge, valorándola, la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible hasta el momento, con el fin de poner a disposición de todos las distintas cuestiones y pareceres sobre el hecho del cambio climático y sus impactos, de manera tal que constituyan sus informes la base más importante de que desde ahora se disponga para la puesta en práctica de las políticas preventivas de Naciones Unidas y de otras destacadas instancias nacionales e internacionales.

Y, por fin, el tercer hecho que creo preciso señalar aquí por la trascendencia que para la buena marcha del mundo está teniendo ya y tendrá en un futuro a corto y posiblemente a medio plazo, es la volatilidad de la evolución de los precios del petróleo a lo largo del último decenio . Evolución que ha llevado a más que duplicar el valor del barril en el plazo de un año hasta superar los 140 dólares a finales de la primera mitad de este año 2008, para descender por debajo de los 80 dólares tres meses después, sin que sea prudente aventurar ahora cuál vaya a seguir siendo su desarrollo en el curso de los próximos meses, o, aún años. Y esto, máxime si se tiene en cuenta la muy seria crisis económica y financiera que está abierta en estos momentos en el mundo desarrollado, cuyo grave alcance y duración resultan muy difíciles de precisar todavía, pero que presumiblemente será larga, acarreado como consecuencia, una recesión en la economía de determinados países, que podrá afectar al consumo de determinadas materias primas minerales.

2. ALGUNOS APUNTES HISTÓRICOS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS MINERALES ESPAÑOLES

Bien conocido es el hecho de que a lo largo de la Historia, desde las más remotas épocas prehistóricas, las riquezas minerales que alberga la

Tierra han constituido soporte importante del desarrollo de las sucesivas civilizaciones que en el mundo han sido y siguen siendo; al principio como sustento de su propia subsistencia, y después como plataforma de su progreso económico y social.

Esta apreciación queda puesta de manifiesto al constatar cómo el consumo de estas materias primas se halla tan ligado ahora al desarrollo económico de los países más avanzados con elevados índices de su producto interior bruto, o cómo en otros casos su economía depende de una producción de minerales generadora de ingresos y medios absolutamente básicos para su desarrollo. Tal dependencia es más acusada en los 51 países en desarrollo que albergan una población de 3.500 millones de habitantes, de los que en torno al 40% viven con menos de dos dólares diarios, y en los que la minería es una actividad importante que representa entre el 5% y el 50% de sus exportaciones.

Sabido es que los minerales han estado muy relacionados con el Hombre desde los más lejanos tiempos de su Historia. Baste recordar que ya empleaba utensilios de piedra hace más de dos millones de años, como lo atestiguan los hallazgos en Etiopía y Tanzania, y que hace millón y medio apareció en África una ancestral industria lítica Achelense que fue progresando hasta alcanzar la era de la Piedra Tallada en el Paleolítico, y posteriormente la de la Piedra Pulimentada en el Neolítico. Época, ésta, en la que fueron surgiendo ya manifestaciones de una incipiente minería subterránea, como las encontradas en varios países europeos, en la que se horadaban calizas y se abrían pozos empleando instrumentos de sílex con que alumbrar otras perspectivas de hallar nuevos bloques de pedernal, una vez agotadas las posibilidades de obtenerlos en niveles más superficiales.

Como es notorio, la explotación y el beneficio de los recursos minerales han tenido un protagonismo muy destacado en el desarrollo de nuestro país a todo lo largo de su historia. En efecto, España constituye un ejemplo de la muy dilatada vida de la minería, pues a lo largo de ella proliferan los vestigios del empleo de materiales minerales desde las más antiguas etapas prehistóricas, de las que se conocen testimonios del empleo de la piedra, sea en la fabricación de armas y otras herramientas, en la elaboración de objetos cerámicos, en la obtención de pigmentos y colorantes para su embellecimiento o para las pinturas rupestres, sea, en fin, para las arcaicas estructuras arquitectónicas.

Nuestra nación constituye una buena muestra de región que cuenta con una gran variedad de recursos minerales de que ha dispuesto su subsuelo. Variedad que sin duda es reflejo de la compleja y muy diversa constitución geológica que caracteriza a la Península Ibérica, cuya formación ha venido guiada por su estratégica situación como zona afectada por la confrontación y separación de las grandes placas litosféricas americana, euroasiática y africana, de tal modo que la hacen aparecer más bien como un continente visto a escala reducida, por reunir materiales tan distintos que, por lo general, no se dan más que en territorios de extensión mucho mayor.

Esta riqueza mineral ha sido aprovechada en España desde muy antiguo, con una tradición minera que no sólo ha sostenido su progreso durante milenios, sino que el interés por su localización y provecho para los diferentes usos con que cubrir las necesidades que con los tiempos se han ido sucediendo, ha sido más que motivo para la exploración y colonización de nuevos territorios dentro y fuera de nuestras fronteras. Primero lo fueron por forasteros llegados del Oriente próximo que nos trajeron las ancestrales culturas mediterráneas, y después por españoles que viajaron al continente americano llevando la nuestra, otorgando con ello a nuestro litoral un preponderante papel en el comercio marítimo de las distintas épocas.

Como no podía ser de otra manera, una historia minera como la nuestra, ha estado salpicada por las muchas vicisitudes que trajeron consigo los tiempos y los distintos pueblos que han vivido en nuestro país, remontándose a la Era de la Piedra Tallada del Paleolítico, y, más tarde, a la de la Piedra Pulida del Neolítico, de los que se han encontrado multitud de vestigios en Europa. Entre otros, un ejemplo de una minería neolítica, ya subterránea, lo tenemos muy cerca, en Casa Montero, situada en la margen derecha del río Jarama dentro de Vicálvaro, en el municipio de Madrid, donde se han reconocido del orden de 2.700 estructuras subterráneas, en su mayoría pozos de extracción de tipo chimenea, con profundidades hasta de 7,3 metros, y con excavaciones laterales para la extracción de sílex.

Pero, sin duda, por la antigüedad de sus registros, el caso más notable de la evolución de la tecnología prehistórica para la producción de herramientas, es el de el yacimiento arqueo-paleontológico de Atapuerca en la provincia de Burgos, donde se han hallado herramientas correspondientes a una cronología paleolítica del último millón de años, entre las que sobresalen los picos bifaces y hendedores. Al Paleolítico Medio, corresponden los útiles de gran tamaño fabricados con rocas locales, en Arlampe de Lemona

(Vizcaya), con unos 300.000-115.000 años de antigüedad. Las huellas de labores mineras en España inmediatamente posteriores a la Edad de Piedra, en Asturias, Jaén, Córdoba y Huelva, ponen de manifiesto la actividad extractiva de las razas de Cro-Magnon y Furfooz.

De los metales, el primero trabajado por el Hombre fue el cobre, a lo largo de lo que se conoce como Edad del mismo nombre, el cual por su poca dureza, fue posteriormente objeto de aleación con el estaño, primero, y con el plomo, más tarde, iniciándose de esta manera la Edad del Bronce, una vez descubiertos los procedimientos metalúrgicos, tras la invención del horno de fundición y el empleo de carbón vegetal.

El período Calcolítico, como transición entre la Edad de la Piedra y la de los Metales aparece en la Península Ibérica hacia el tercer milenio a. C. asociado a la cultura de Los Millares en Almería; lugar donde nació una incipiente metalurgia de cobre arsenical de mayor dureza que el cobre puro. Otras sustancias metálicas de la fase pre-metalúrgica fueron el oro y la plata, que se obtenían en forma nativa.

A finales del segundo milenio a. C. comenzó la sustitución del bronce por el hierro, principalmente para la fabricación de herramientas y armas, que tan prolongado y creciente empleo habrían de tener hasta nuestros días.

Las sucesivas invasiones de la Península procedentes de los países mediterráneos tuvieron como móvil principal el atractivo aprovechamiento de su riqueza metalífera. Los fenicios fueron los primeros, sumándose a los habitantes de la ciudad de Tartesos radicada en el suroeste peninsular, que llegados en el segundo milenio, fundaron la ciudad de Gadir —la Gades de los romanos y la Cádiz de hoy día—, como centro de operaciones de su comercio de los metales extraídos de los puntos de producción en la Andalucía Occidental.

Posteriormente fueron los helenos quienes fundaron diversas colonias de interés minero con importantes trabajos en Granada, Almería y Jaén. La expulsión de los fenicios, el fin del imperio de los tartesios y su victoria sobre los helenos, hicieron de los cartagineses una nueva presencia de pueblos llegados allende del Mar Mediterráneo, forzando los trabajos mineros para la obtención de plata, principalmente, así como de plomo y otros metales necesarios para el mantenimiento de su singular actividad guerrera.

La civilización romana, dominadora en España a partir de la toma de Cartago Nova por Escipión a principios del siglo II a. C., intensificó notablemente la actividad minera en España, haciendo florecer esta industria a la que aplicaron unas tecnologías de mecanización incipiente, tanto de reconocimientos topográficos y geológicos a lo largo y ancho de todo el país, como en la propia minería, perforando pozos cada vez más profundos, efectuando trabajos de sostenimiento y fortificación en las labores subterráneas y produciendo grandes movimientos de tierras en las de cielo abierto, uno de cuyos ejemplos más singulares es el de las minas de oro de Las Médulas en la provincia de León, donde se estima que los romanos movieron doscientos millones de metros cúbicos de tierras para extraer 150 miligramos del valioso metal en cada uno de ellos. Pero su minería se extendió a muchos otros lugares y metales: oro en Huelva, Córdoba, León y Asturias; plata en Cartagena, Jaén, Sierra Morena y Cantabria, cobre principalmente en Huelva, aunque también en Almería y Asturias, mercurio en Almadén, plomo en Jaén, estaño en Salamanca y hierro en la zona cantábrica, Moncayo y Valle del Ebro, por citar algunos ejemplos. Como denominador común del dominio romano en España, cabe concluir que éste se tradujo, como en tantas otras cuestiones en que en la actualidad apenas se conozca ningún yacimiento rico que en aquel tiempo no hubiera sido objeto de alguna explotación.

Controvertida es la importancia de la minería en la época visigoda. La mayor parte de los autores indican un importante declinar de las explotaciones, aunque existen noticias del consumo de mercurio de Almadén, oro y cobre en Huelva, plata y plomo en Jaén, estaño en Galicia, hierro en Granada, y otros.

Algo similar ocurre con la bibliografía relativa a la dominación árabe, que recoge opiniones discrepantes entre sí. Aunque más interesados por la agricultura y la ganadería, los musulmanes explotaron en mayor o menor medida, metales clásicos: oro (Granada), plata (Toledo), mercurio (Almadén), cobre (Huelva), hierro (Sevilla), estaño (Salamanca), plomo y cinc (Granada), además de arsénico y bismuto, antimonio y sales de cromo. En todo caso, no parece que se alcanzase con la presencia musulmana el desarrollo minero que se venía produciendo en los siglos anteriores.

Por su parte, la minería de la España cristiana no debió diferenciarse en gran medida de la de los árabes, produciéndose de forma parecida un avance en el desarrollo de los conocimientos alquímicos y metalúrgicos, que les permitieron obtener sales mercuriales, sulfatos de hierro y cobre, nitrato

de plata, sosa y potasa, llegando a fabricar la pólvora, y a copelar el oro y la plata utilizando plomo. Los cristianos consiguieron un buen desarrollo metalúrgico, obteniendo el primer hierro fundido en pequeños hornos de cuba, con el empleo de carbón vegetal y del soplado.

Tras las seculares luchas de moros y cristianos, renace de nuevo la minería hispana, con una intensificación de la extracción de metales tales como el hierro, el cobre, el estaño, el oro y la plata, particularmente durante los reinados de Carlos V y de Felipe II, necesitados de útiles de guerra y metales preciosos con que financiar las frecuentes guerras mantenidas por sus ejércitos en Europa, así como la conquista de América. Es de señalar que las leyes y ordenanzas publicadas en la segunda mitad del siglo XII por Felipe II, constituyeron la base de la legislación minera durante casi trescientos años después.

La conquista americana trajo consigo el hallazgo de muy señalados depósitos minerales de plata en Méjico y Perú, ocurriendo en este último virreinato la puesta en explotación de las famosas minas de Potosí, que a finales del siglo XVI alcanzaron a producir el 50% de la plata de todo el mundo. Muy importante ha sido desde entonces hasta nuestros días el aprovechamiento de las riquezas minerales del continente americano, algunas de las cuales, como las de oro y plata, propiciaron desde el primer momento el suministro de mercurio para los procesos de amalgamación, incrementándose con ello la actividad de las minas de Almadén, que también tuvieron que atender la demanda para la plata de Guadalcanal, en Sevilla, y de Aracena, en Huelva.

El auge de la minería española en el siglo XVI, tuvo su continuación en el siglo siguiente, merced a las disposiciones dictadas por los monarcas facilitando la dedicación del personal a esta industria. Un hecho a destacar en el empleo de la pólvora en el laboreo minero, que comenzó en Almadén en 1698 y que se habría de generalizar en el siglo XVIII. También fue en Almadén donde a finales de ese mismo siglo se introdujo en la minería la máquina de vapor de Watt, para su empleo en tareas de desagüe.

El reinado de Carlos II, con el fin de la dinastía austriaca, que hizo entrar en decadencia el imperio español, y la guerra de Sucesión, no trajeron tiempos favorables para el progreso de la minería en nuestro país. Ya en el siglo XVIII, ésta recibió nuevos impulsos merced a las disposiciones de la monarquía borbónica. Carlos III sentó las bases para una industrialización

en España, que, en su segunda mitad, dió lugar a la existencia de grandes personajes mineros. Tales son los casos de Ulloa, que difundió el hallazgo del platino en Nueva Granada (1748), el de los hermanos Elhúyar, descubridores del wolframio (1781) y el de Del Río, que lo fue del vanadio (1801).

En este sentido, destaca también la constitución de las primeras Escuelas de Minas de España y de Hispanoamérica, antecesoras de las actuales. Tras la creación en 1762 de la Escuela de Minas de Freiberg en Alemania, la de Schemnitz en Hungría en 1770, y la del Instituto Especial de Minas de San Petersburgo en Rusia, en 1704, se fundó la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País, antecesora del Seminario Patriótico de Bergara de 1773, para la enseñanza, en ambos casos, de laboreo de minas, mineralogía y metalurgia, y poco después, en el año 1773 la Academia de Minas de Almadén para la docencia, entre otras materias típicamente mineras, de la Mineralogía y la Geometría Subterránea, dando con ello verdaderamente inicio de la enseñanza reglada de la Geología en España y cuyas aulas dieron lugar a la aparición en la minería de los grandes ingenieros geólogos de finales del XVIII y primeros años del XIX.

Sucesora de esta Academia de Almadén fue la Escuela Especial de Ingenieros de Minas de Madrid, creada en 1835 e incorporada para la preparación de los ingenieros un año después, prevaleciendo hasta nuestros días, a la que se han sumado, ya en la segunda mitad del siglo XX, las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Minas de Oviedo y de Vigo.

También en 1835 se inauguró la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona para la enseñanza de la Mineralogía, la Geología y la Explotación de Minas.

Al contemplar en estos breves apuntes algunos de los hitos más sobresalientes de la historia minera española, no puedo dejar de citar un importante acontecimiento relativo al apoyo de la Geología, como ciencia que ha sido y sigue siendo base indispensable para la investigación, descubrimiento y apoyo a la explotación de recursos minerales, como fue la creación en 1849 de la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, que posteriormente se transformaría en lo que hoy es el Instituto Geológico y Minero de España.

La Guerra de la Independencia trajo consigo la destrucción de muchas de las principales metalurgias del país. De ahí que la producción de

los minerales no féreos fuese prácticamente insignificante en los albores del nuevo siglo. Superados los años difíciles de postguerra, a mediados del siglo XIX se produjo un fuerte despegue de la minería, especialmente en la extracción de minerales metálicos, auspiciada, tanto por la Revolución Industrial, necesitada de metales y de combustible —lo que llevó a un alza de los precios de estos productos, así como a la búsqueda de yacimientos explotables—, como por la llegada de capitales extranjeros, principalmente ingleses y franceses, que exportaban buena parte de las producciones españolas en apoyo de la industria europea. A mediados del siglo XIX se ponen en explotación las minas de plata de Híndelaencina, en Guadalajara, y de galena argentífera de Sierra Almagrera, en Almería. Al desarrollarse el uso de la energía eléctrica con fines metalúrgicos, se obtiene el aluminio y poco después el magnesio, el cadmio y otros metales ligeros minoritarios. Aunque sobre la existencia y comienzos de nuestra minería de carbón se tienen noticias de mediados del siglo XVIII, se puede decir que ésta no salió de su primera infancia hasta mediado ya el siglo XIX, con las producciones procedentes principalmente de Asturias y Sierra Morena.

Con la fuerte expansión de la minería, el siglo XIX y el primer tercio del siglo XX representaron la época dorada de la producción minera española, tanto en lo que se refiere a la minería metálica —plomo, mercurio, hierro, cobre y piritas principalmente— como a la energética del carbón.

Se puede decir desde el punto de vista minero que el siglo XX hasta la segunda Guerra Mundial, en España es una continuación del anterior, con explotaciones importantes realizadas por compañías extranjeras —sustancialmente británicas, francesas y belgas— y fuertes exportaciones de las producciones a Europa, cuyo desarrollo industrial en buena parte tuvo lugar a expensas de la minería española.

Corresponde a la mayor parte del pasado siglo la etapa de mayor actividad e importancia para diversos sectores de la minería nacional; permitiendo con minerales propios atender el desarrollo económico español de la segunda mitad del siglo. Este impulso de la industria minera fue tal que nuestra nación ocupó en esos años un lugar importante en el mundo por la cantidad y variedad de sustancias minerales producidas, como fueron fundamentalmente las metálicas de Huelva (cobre, sulfuros polimetálicos, piritas, metales preciosos), Sevilla (sulfuros polimetálicos), Jaén (plomo, plata), Granada (hierro), Salamanca (estaño, wolframio, uranio), Cantabria (cinc), Ciudad

Real (mercurio), La Coruña (cobre), Lugo (plomo, cinc), Orense (estaño). Las producciones de hulla y antracita procedieron de Asturias, León, Palencia, Ciudad Real y Córdoba, las de lignito negro de Zaragoza, Teruel y Barcelona, y las de lignito pardo de La Coruña y Granada.

En los últimos años del siglo concluido recientemente, la minería hispana acusó un fuerte descenso, como consecuencia de la bajada de las leyes, en unos casos, en otros, del desarrollo de las políticas de globalización imperantes a nivel mundial, con el consiguiente fortalecimiento del comercio exterior y la llegada de productos en muchos casos a precios inferiores a los costes del propio del país, y, por último, del lógico endurecimiento de las exigencias medioambientales, como requisito necesario para la mejora de la calidad de vida.

En esta primera década del siglo XXI en que nos hallamos, se ha iniciado una fase de transición hacia una renovación de la minería metálica que ha traído consigo el cierre de algunas minas, la apertura de otras nuevas y el avance en la exploración de otros depósitos.

Por primera vez en mucho tiempo, tan sólo la mina de cobre y níquel de Agua Blanca, sita al norte de Sevilla se encontraba desde 2005 en producción, habiéndose comenzado en el año 2008 la explotación de la mina de alta ley de cobre de Las Cruces, próxima también a Sevilla, y la de wolframio de Los Santos, en la provincia de Salamanca, con una vida prevista, para ambos, de 15 y 10 años, respectivamente.

La exploración de nuevos yacimientos metálicos se está extendiendo a los depósitos de cobre, cinc y plata de Aguas Teñidas, al norte de la provincia de Huelva, así como a los famosos y explotados desde mucho tiempo atrás de Riotinto, cuya producción cesó en el año 2000 a causa del bajo precio del cobre. Otras actividades de exploración en estos años son las de extensión de las reservas de níquel y cobre en Agua Blanca, de níquel, cobre y oro en Ossa Morena, de cobre y oro en Huelva, y de oro en Salamanca y Asturias.

Los minerales no metálicos, en número próximo a la veintena, está teniendo sus máximos exponentes por el volumen de sus producciones —que es uno de los aspectos que más pueden incidir en los impactos medioambientales—, y en la micro-sílice, el carbonato cálcico, el sulfato sódico, las arcillas especiales y la sal común.

Pero la mayor producción minera en España viene siendo de largo la de los áridos para la construcción, que en 2006 ascendió a 479 millones de toneladas, a las que hay que sumar otros 75 millones destinados al consumo en cementos, industria química, metalurgia, etc. Es de subrayar a este respecto que el consumo de áridos para construcción por habitante en 2007 ha sido en España un 50% superior a la media europea anual.

En el sector energético, la minería de carbón atendía hace medio siglo a la mitad de la demanda total de energía primaria. En la actualidad se mantiene ligada a la producción de energía eléctrica, representando en 2007 el carbón nacional y el exportado del orden del 25% del abastecimiento a este sector. La marcha descendente de la producción nacional ha proseguido en los últimos lustros, apenas sobrepasando lo 17 millones de toneladas en 2007 —un 7% menos que en el año anterior—, de los que la mitad correspondieron a la hulla y antracita de Asturias y León, seguida por el lignito pardo de Galicia y, en el último lugar, por el lignito de Aragón.

Las producciones españolas de petróleo y gas han sido siempre muy minoritarias. La del petróleo en 2007 fue de 143.000 toneladas —un 15% menos que la de 2005—, procedentes de yacimientos «off-shore», habiendo sido la de gas natural en ese mismo año, de 42 millones de metros cúbicos provenientes de pequeños yacimientos de la región andaluza, con un descenso del 75% respecto a la de 2005.

3. LOS COMBUSTIBLES MINERALES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Ya desde 1992, cuando en la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro, más de 150 países y la Comunidad Europea firmaron la Convención Marco sobre el Cambio Climático, éste se definió como el «*cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que se viene a añadir a la variabilidad del clima observada durante períodos de tiempo comparables*». Nótese que este texto hace una diferenciación entre una «*variabilidad del clima*», motivada por causas naturales, y un «*cambio climático*», atribuible a la acción del Hombre, que altera la composición de la atmósfera y produce un forzamiento radiativo, como alteración del flujo de energía radiante en su seno, la subida de la temperatura en la superficie terrestre.

La historia de los estudios sobre la cuestión desarrollados por el I.P.C.C. a lo largo de los últimos veinte años —tiempo transcurrido desde su creación—, y tras sus tres primeros informes de 1990, 1997 y 2001, este Cuarto Informe de 2007 está terminando con muchas de las vacilaciones y controversias de distintas instituciones políticas y, en buena medida, de un sector de la opinión pública, reacio durante largos años a admitir el hecho de un cambio climático que está afectando al Planeta, con las previsibles consecuencias adversas que traerá consigo en un futuro no lejano, así como a considerarse en buena parte directamente responsable de su origen y evolución.

En el pasado mes de abril, en colaboración con la Fundación «Ramón Areces», esta Real Academia organizó el Simposio Internacional «*Análisis crítico del cambio climático; una perspectiva científica*», a cuyo documento declarativo final remito al lector de este texto, como ampliación de algunas de sus conclusiones aquí recogidas.

Hechos registrados, como el aumento de 0,74° C de la temperatura media global durante el último siglo, con un ascenso más acusado en los recientes treinta años que ha sido de 0,18° C por década; una subida media del nivel del mar de 1,8 mm desde 1961; derretimientos parciales de glaciares, casquetes y placas de hielo polar, junto con alteraciones en el régimen de lluvias y extensión de ciclones tropicales intensos en regiones del Atlántico Norte, coinciden en el tiempo con la presencia en la atmósfera de concentraciones crecientes de los llamados gases de efecto invernadero, como son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), cuyos niveles actuales han superado el rango natural de los últimos 650.000 años, tal y como se desprende de los análisis efectuados en testigos de hielo.

Con una certeza del 90%, al decir del I.P.C.C., la actividad humana ha sido la causante del aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero y, en consecuencia, del calentamiento del Planeta que se sabe que viene ocurriendo desde 1750. Y no se olvide que por esas fechas se había iniciado la Revolución Industrial, que desde la segunda mitad del siglo XVIII llevó a la utilización del carbón mineral, que habría de incrementar fuertemente su consumo a partir de mediados del siglo siguiente, seguido con la extensión del uso del petróleo, primero, y después, ya en el siglo XX, con la expansión del aprovechamiento del gas natural. Actualmente el conjunto de las emisiones anuales de estos gases

se acerca a los 40.000 millones de toneladas (40 Gt), medidas como CO₂ equivalente, siendo las de mayor aportación al efecto invernadero las correspondientes al CO₂.

De las emisiones globales de los citados gases, la aportación mayor corresponde al dióxido de carbono, cuyas tasas anuales de crecimiento de las concentraciones atmosféricas anuales del CO₂ están subiendo con los años. Así, por ejemplo, durante el decenio comprendido entre 1995 y 2005, el incremento de este gas ha sido un 36% superior al registrado a lo largo de los cuarenta y cinco años que median entre 1960 y 2005. Ello no es sino consecuencia muy principalmente de las emisiones ocasionadas por la combustión de los combustibles fósiles, las cuales, de una media anual de 23,5 Gt en la pasada década de los 90, han pasado a 26,4 Gt en los años del primer lustro del siglo XXI. Además, los cambios en el uso de los suelos, que provocan alteraciones en su cubierta, pueden influir en el albedo, en la evapotranspiración, en las fuentes o en los sumideros naturales de tales gases, ocasionando con ello también una modificación de las condiciones climáticas. El incremento de las emisiones anuales hizo que por esta causa se emitieron 5,9 Gt en los años de la última década del pasado siglo XX.

El creciente consumo total de las energías fósiles seguirá acentuándose en el futuro, con el consiguiente incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El World Energy Outlook 2007 estima que si no se arbitran las debidas políticas por los distintos Gobiernos, estas emisiones aumentarán un 57% entre los años 2005 y 2030, hasta alcanzar las 41,9 Gt, a un ritmo anual del 1,8%, debido entre otros motivos a un mayor recurso al carbón en países tales como China, la India y otras naciones en vías de desarrollo.

No se olvide que siendo actualmente 430 ppmv la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero, para que la temperatura media de la Tierra no aumente en más de 2° C. en 2030, se precisaría que dicha concentración se estabilizara en el rango de los 450-550 ppmv, para lo que sería necesario que las emisiones anuales no se situaran muy por encima de las 30.000 Gt.

En los últimos veinticinco años, sin embargo, las emisiones totales en el mundo crecieron a un ritmo menor del que registró el empleo de la energía primaria, ya que mientras las primeras lo hicieron con una tasa

media anual del 1,61%, en el caso de la última, la tasa fue del 1,85%. Ello ha sido debido a los aumentos del peso relativo del gas natural, que es el combustible fósil de menor emisión de CO₂, y del de la energía nuclear. Aunque de manera aún incipiente, la presencia de las energías renovables en la diversificación de la energía primaria también ha contribuido a estos resultados.

La generación de energía eléctrica se seguirá aproximando a la mitad del crecimiento de las emisiones globales en el período 2005-2030, pasando, de representar el 41% al 45% o más, en estos años citados.

El transporte es el segundo emisor en importancia de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, contribuyendo aproximadamente con una quinta parte del incremento de las emisiones globales hasta 2030. También habrán de ser los países en vías de desarrollo, donde se cree que más crecerá el número de turismo y el transporte de mercancías.

El carbón es el principal responsable de las emisiones de gases de invernadero. En efecto, si para la generación eléctrica y usos térmicos atendemos al protagonismo que el carbón, el petróleo o el gas natural tienen en este terreno, sus respectivos factores de emisión son los más elevados en el caso del primero, situándose para las diferentes clases de este combustible —hullas y antracitas, lignitos negros y lignitos pardos—, en el entorno de las 5 toneladas de gas por cada tonelada equivalente de petróleo (tep), seguidos por el del petróleo con algo más de 3 toneladas, y el del gas natural con un poco por encima de las 2 toneladas. Aplicadas estas cifras a la generación de electricidad, las emisiones de CO₂ equivalente resultan ser para el carbón de 750-1000 gramos por kwh producido, según las nuevas o más antiguas tecnologías aplicadas, de 800 gramos para el petróleo y de 350 gramos en el caso del gas natural.

Con referencia exclusivamente al CO₂, las emisiones originadas en España, representan el 83,5% del conjunto de los 440,6 millones de toneladas de gases de invernadero lanzadas en 2006, sin considerar los sumideros, habiéndose alcanzado los 368 millones de toneladas, con un crecimiento del 61,3% respecto al año base de 1990, considerado como tal en el Protocolo de Kyoto, y del 2,5% si se compara con el del año 2005. El protagonismo de los combustibles fósiles en estos hechos queda claramente puesto de manifiesto, porque de esas emisiones de CO₂, el 93% procede de su consumo en centrales térmicas, vehículos, industrias, comercio y vivienda.

En cuanto al metano, cuyo potencial de calentamiento es 21 veces mayor que el del CO₂, en 2006 en España se emitieron 37,5 millones de toneladas, en unidades de CO₂ equivalente, con un aumento del 33,7% respecto al año 1990. Las emisiones de este gas equivalieron al 8,5% de las totales del conjunto de los seis gases de invernadero.

Sobre el futuro del carbón en la política energética española, la «Fundación para Estudios sobre la Energía», de la Universidad Politécnica de Madrid, ha publicado recientemente un estudio muy completo, alguna de cuyas referencias se comentan en lo que sigue.

En España el carbón participó en el año 2007 con un 25,3% en la generación de energía eléctrica, las centrales de gas de ciclo combinado con un 24,5%, las de fuel-gas con un 3,6%, las nucleares con un 18,6%, las hidráulicas y otras energías renovables, como la eólica, con un 18%, y otras centrales en Régimen Especial, con un 9,9%.

Como fuente de energía primaria, el carbón ofrece un respaldo a la seguridad de abastecimiento en condiciones estables, aunque, como contrapartida, es un importante emisor de CO₂. Por las favorables características que presenta el abastecimiento de carbón para el sistema eléctrico, dada la gran abundancia de reservas que existen en el mundo —del orden de 1.000.000 millones de toneladas—, las cuales representan aproximadamente la mitad de las disponibilidades del total de los combustibles fósiles, alcanzando una duración probablemente superior a los 200 años al ritmo de consumo mundial actual; su amplia distribución a lo largo y ancho de los cinco continentes, no haciendo peligrar por ello la garantía de los suministros, y la menor volatilidad de sus precios, que, además, siempre han sido menores que los del petróleo si se valoran por su contenido energético, el carbón seguirá teniendo en este siglo un importante protagonismo en la generación eléctrica mundial. Protagonismo que seguirá en alza, particularmente por el que se prevé en los países de economías emergentes, como son los de la cuenca del Pacífico y China en especial, cuyo consumo de este combustible creció desde los 1000 millones de toneladas en 1990 hasta los 2.300 millones en 2006.

En España, la preocupación por atender su compromisos de una disminución del crecimiento de las emisiones de CO₂, hace se prevean que a lo largo de una década la participación del carbón en el sector eléctrico descienda sensiblemente hasta niveles que puedan ser aproximadamente del

orden de la mitad de la habida en el año 2005, en favor de las centrales de gas de ciclo combinado y de energías renovables, especialmente de la eólica.

No obstante, garantizados los suministros y los costes, para conseguir en el futuro un carbón limpio se hace preciso —tal y como ya se está investigando—, asegurar la calidad ambiental en su empleo, básicamente en lo referente a la anulación de las emisiones de CO₂, mediante la captura y confinamiento de este gas en formaciones geológicas estancas, como las que en su momento constituyeron yacimientos de petróleo o de gas; en acuíferos no utilizables como fuentes de agua potable; en macizos salinos terrestres, o, incluso, en áreas marinas. Tales son las posibilidades que se están analizando en la actualidad, en cuyo estudio el Instituto Geológico y Minero de España está trabajando, habiendo preseleccionado hasta once áreas repartidas por el Sur y el Este de la Península.

El petróleo es y seguirá siendo el combustible fósil más empleado en el mundo. Con una participación en la demanda de energía primaria que en el año 2004 fue del orden del 35%, se sitúa por delante de la del carbón (25%). Aunque no se prevé que su contribución porcentual al consumo total de la energía primaria ascienda, sino que aún baje algo, en términos absolutos la Agencia Internacional de la Energía estima que, de 3.890 Mtep (34%) consumidos en 2006, se suba hasta niveles que oscilen entre 5.575-4.995 Mtep (33-32%), según vayan progresando las políticas de reducción de la demanda de hidrocarburos.

La mitad de la producción del petróleo se consume en el sector del transporte, a través de los carburantes de locomoción, lo que puede representar en torno a la tercera parte del consumo de energía final. Porcentaje que varía según las regiones. Así, para la Unión Europea, es algo menor del 30%, llegando en España al 40%.

Característica de este combustible es la distribución tan desigual de sus reservas, estimadas en 162.000 millones de toneladas, cuyo 62% se concentra en países de Oriente Medio, llegando al entorno del 85% si a éstos se suman los de la Federación Rusa. Su tonelaje ha ido aumentando con los años, merced a los trabajos de exploración desplegados, de forma que las cantidades históricamente extraídas de sus yacimientos han venido siendo reemplazadas con nuevos hallazgos, hasta el punto de que en ningún momento han descendido las perspectivas de duración de

las disponibilidades conocidas, estimadas hoy en día en 40 años. Estas disponibilidades de crudos medios y ligeros pueden incrementarse de manera muy notable si se considera el aprovechamiento de los crudos pesados de Sudamérica y las grandes reservas de arenas bituminosas del Canadá.

De aquí que por su volumen, las reservas de petróleo no parece que constituyan al menos a medio plazo, una amenaza para su necesario abastecimiento al mundo, aunque su demanda vaya creciendo de forma importante por el progresivo acercamiento de las naciones emergentes en vías de desarrollo a los niveles económicos e industriales de los países occidentales.

Los problemas más importantes que plantea este combustible son una cierta inseguridad de las disponibilidades de los recursos, que pudiera derivarse en un futuro, dada la concentración en un número muy limitado de países con situaciones políticas muy diversas; la volatilidad de los precios, con oscilaciones en el tiempo extraordinariamente alarmantes, y la acusada incidencia que sus productos presentan sobre emisiones de los gases de invernadero, muy especialmente en el sector del transporte.

Por su parte, el gas natural es el combustible fósil que muestra un menor impacto en la concentración atmosférica de los gases de invernadero, pues sus emisiones de CO₂ resultan ser un 40-50% menores que los del carbón y un 25-30% inferiores a los del petróleo por unidad de energía producida, dependiendo del proceso que se siga y de la calidad del combustible. Esta circunstancia hace que su consumo vaya en aumento como una de las soluciones más válidas a corto y medio plazo para amortiguar el efecto invernadero y, con ello, luchar contra el cambio climático.

Sus recursos mundiales son muy grandes, habiendo crecido incluso por encima de las producciones habidas hasta ahora, y alcanzando unas disponibilidades conocidas que, al ritmo actual de consumo, podrán durar unos 60 años. Se espera, sin embargo, que muy probablemente, existan reservas que serán suficientes para cubrir todo el siglo XXI, pese al aumento de su consumo en aplicaciones distintas de las convencionales, como pueden ser la producción de hidrógeno, su extensión en la automoción, etc. Al igual que en el caso del petróleo, es alto el nivel de concentración de sus reservas, toda vez que los países de Oriente Medio albergan el 41% y la antigua Unión Soviética el 32% de las mismas.

Sin que posiblemente varíe especialmente su contribución en términos relativos al consumo mundial de energía, se cree que su consumo será creciente en el mundo, debido a las mejores condiciones ambientales que presenta, así como al incremento de la demanda de energía que se está produciendo en el mundo. Según la Agencia Internacional de la Energía, de un consumo de 2.575 Mtep habido en el año 2006, que representa un 22% de la energía primaria total, se pasará a 3.869-3.370 Mtep en 2030, lo que mantendría el porcentaje del 23-22%, según evolucionen las previsiones del crecimiento del consumo de los hidrocarburos en función de las mejoras de eficiencia energética y la sustitución por energías de CO₂.

Además del carbón, del petróleo y del gas natural, el cuarto combustible mineral al que hay que referirse como importante fuente energética, aunque sufra una contestación social en determinados países, como viene sucediendo en España, es el uranio.

Su destino es la generación de energía eléctrica en las centrales de fisión. En la actualidad, en el mundo existen 439 reactores en operación, estando en este aspecto a la cabeza de los países, los Estados Unidos, con 104, Francia, con 59, y Japón, con 55. Cerrada el pasado año la central José Cabrera, en España se encuentran funcionando seis centrales construidas desde 1970 a 1987, cuya producción en 2007 fue del 18% de la generación eléctrica total.

Las reservas identificadas de combustible en el mundo ascendían en 2005 a 3.6 millones de toneladas de U₃O₈, repartidas por países tan diversos, como Australia, Kazajstán, Canadá, Sudáfrica, Namibia, Federación Rusa y otros, permitiendo, por su cuantía, el mantenimiento de los actuales consumos durante un periodo de más de 80 años, según la Agencia Internacional de la Energía. Reservas que podrían aumentar con una intensificación de las prospecciones, tal y como está sucediendo en algunos países, así como la duración de sus suministros, que alcanzarían períodos mucho mayores, una vez que los reactores de la 4ª generación que actualmente están todavía en proyecto, puedan llegar a ser una realidad. Además cabe recurrir al torio, como combustible hasta ahora no utilizado.

Su empleo no genera emisiones de gases de invernadero, lo cual hace a este recurso muy favorable para la lucha contra el cambio climático. Otras características positivas de las centrales de fisión, son su larga vida útil, igual o superior a 40 años; la seguridad de abastecimiento del mineral

de uranio, al proceder de regiones muy repartidas por el mundo, muchas de las cuales son políticamente estables; la regularidad de su mercado en cuanto a precios, así como su bajo poder contaminante de gases o partículas causantes de la lluvia ácida.

Sin embargo, existen otros aspectos del empleo de la energía nuclear que se esgrimen por las posiciones contrarias, como es lo relativo a una solución definitiva para el almacenamiento de los residuos de larga duración y alta radiactividad; el coste, tanto de la construcción de nuevas centrales, como del desmantelamiento de las existentes; el temor de que en algunos países el conocimiento alcanzado sobre la tecnología nuclear pueda fomentar la expansión del armamento atómico y, sobre todo, la acendrada percepción social que, partiendo de lo señalado, se opone a la implantación de este tipo de centrales en sus dominios.

No obstante lo indicado, los avances tecnológicos en la solución para los residuos radioactivos, la probada seguridad de las modernas instalaciones en el mundo desarrollado, junto con las ventajas primeramente señaladas, están haciendo reformular en algunos países por técnicos y políticos, antiguos planteamientos contrarios, tal y como recientemente está ocurriendo en el Reino Unido, donde tras una prolongada moratoria nuclear se irá a la construcción de nuevas centrales.

Después de lo ya comentado sobre los combustibles minerales, sus características positivas y las que, por el contrario, son negativas particularmente en lo que con la emisión de gases de invernadero se relaciona, cabe concluir que en el mundo una economía basada en fuentes energéticas que no sean emisoras de CO₂, habrá de tardar décadas en llegar, aunque sus participaciones relativas en la mezcla de energías de que se dispondrá en cada momento varíen, en beneficio del gas natural, de las fuentes renovables y posiblemente de la energía nuclear de fisión, en tanto no se disponga de nuevas tecnologías, como la del hidrógeno, la de la energía nuclear de fusión o la del carbón limpio en emisiones.

Pero la energía disponible en cualquier momento ha de ser segura, competitiva y sostenible, haciendo frente para ello a los desafíos que están vivos, hoy en día, relativos al conflicto del cambio climático, a la seguridad y competitividad de los suministros, al respeto medioambiental en las producciones y en la eliminación de los residuos, y al mantenimiento para nuestros sucesores de los recursos energéticos que ofrece la Tierra.

Aunque no constituya objeto de esta intervención, por la estrecha relación que ya viene teniendo, y cada vez tendrán más, con los combustibles minerales a los que en parte irán sustituyendo, no es ocioso presentar aquí unos apuntes sobre las energías renovables. Aunque hasta ahora representan un pequeño porcentaje sobre el total de las energías procedentes de los combustibles, como fuentes energéticas no renovables, es seguro que su importancia crecerá cada vez más rápidamente en el futuro.

Dicho de modo muy general, junto con el carácter ilimitado de sus reservas, sus principales ventajas, cuando se comparan con las materias primas no renovables son que no emiten CO₂, no generan residuos de difícil eliminación, evitan una dependencia del exterior para su suministro y no están sujetas a conflictos por su interés estratégico. Por el contrario, salvo en el caso de la energía hidráulica, en aquéllos que se aplican a la generación de electricidad, no es posible el almacenamiento de la energía que producen, son altas la variabilidad de su funcionamiento y las consiguientes dificultades para su previsión, dadas las condiciones cambiantes del viento y de la luz solar, y es baja su densidad de potencia.

De las fuentes renovables aplicadas a la producción eléctrica, las de más reciente crecimiento en su implantación son la solar y la eólica.

En la primera de ellas, cabe distinguir la fotovoltaica que aprovecha directamente la radiación solar para producir electricidad y en la que se observa un crecimiento constante en todo el mundo, y la termosolar en la que la energía solar se utiliza para la generación de calor, con un notable desarrollo que se espera alcance en el medio o largo plazo. En todo caso, la potencia instalada total prevista no se cree que supere los 150 Gw en 2010. En España la potencia eléctrica instalada en 2006 era de 175 Mw, toda ella de fotovoltaica, siendo el objetivo del Plan Nacional de Energías Renovables 2005-2010, alcanzar una potencia total de 900 Mw, correspondiendo 400 Mw a la solar fotovoltaica y 500 Mw a la termosolar.

La energía eólica es de las renovables, la que se halla en un estado más avanzado de implantación, con una fuerte presencia que está creciendo rápidamente en muchos lugares, dando lugar a una producción eléctrica que va siendo importante. Alemania con más de 25.000 Mw instalados en 2007 es el país líder en este campo, seguido por España, con 15.000 Mw. La European Wind Energy Association recoge en un reciente informe que el

objetivo de la industria es llegar en Europa hasta 300.000 Mw instalados en el año 2030, de los que el 42% estarían situados en el mar.

La eólica marina tiene sobre la terrestre la ventaja de la liberación de terrenos, cuya disponibilidad empieza a ser motivo de preocupación en algunas naciones, como ocurre en Holanda, que en 2008 ha inaugurado el mayor parque eólico marino del mundo, situado a 23 Km de su costa, para abastecer de energía a 125.000 holandeses.

Los inconvenientes que, sin embargo, presenta la energía eólica radican en la necesidad de vientos constantes de una cierta intensidad, en el impacto visual de los parques terrestres que van ocupando superficies de terreno cada vez más importantes, junto con la dificultad de almacenamiento de la energía producida.

La energía hidráulica tiene su desarrollo limitado en buen número de países desarrollados, por la oposición que se pone de manifiesto para su crecimiento. En España la potencia eléctrica alimentada por esta energía era en 2006 de 18.300 Mw.

Otras energías renovables aplicables a la producción eléctrica, como la biomasa, presentan un desarrollo muy limitado, con incertidumbres en cuanto al abastecimiento a medio y largo plazo, de combustible en cantidades relevantes. La energía geotérmica es de recurso muy poco significativo, y las de las olas y mareas se hallan en fase de investigación aún incipientes.

Los biocombustibles, por el contrario, tienen un futuro asegurado especialmente para su empleo en el transporte, aunque por el momento son de uso todavía muy reducido.

Ventajas importantes que presentan los biocombustibles son la reducción de las emisiones globales de CO₂, en particular en el caso del biodiesel, su contribución a la seguridad de abastecimiento al diversificar las fuentes de energía, así como su carácter de renovables que no hipoteca el futuro de nuestros sucesores.

El mayor inconveniente que trae consigo su empleo es que hasta ahora han utilizado materias primas de aplicación alimentaria, como son la que suministra los azúcares para el bioetanol —almidón, celulosa, etc.—, o los aceites vegetales extraídos de la colza, girasol, palma, soja, etc., para el

biodiesel. De ahí que se esté recurriendo a materias vegetales, como pueden ser las biomásas residuales, las lignocelulosas o las algas, cuya utilización en la producción de los biocombustibles de 2ª generación, no atenten contra la seguridad alimentaria o contra las deforestaciones y, en consecuencia, contra la biodiversidad.

Inconvenientes también, aunque así mismo sean solventables en un corto espacio de tiempo, son sus costes elevados de producción, y la necesidad de abordar programas de investigación, entre otras posibles cuestiones, para la puesta en régimen de empleo de nuevas materias primas, como son las algas.

Son éstos, organismos acuáticos que captan la luz solar y el dióxido de carbono para la fotosíntesis, y así producir energía y aceites vegetales que se pueden transformar en biodiesel. Las propiedades de las microalgas son muy alentadoras, toda vez que, entre otras, tienen un crecimiento muy rápido, pudiendo duplicar su masa en horas; poseen una gran capacidad de captación de dióxido de carbono de la atmósfera; su producción es continua, crecen en aguas que incluso pueden ser residuales urbanas; no afectan al uso del suelo, y, sobre todo, no compiten con la cadena alimentaria. Una ubicación ideal para la producción de microalgas con este fin, son las inmediaciones de focos industriales grandes emisiones de CO₂, como, por ejemplo, las fábricas de cemento.

Para el año 2020, con relación a la política de lucha contra el cambio climático, la Unión Europea ha determinado para el año 2020 una serie de objetivos bien conocidos: la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% respecto a los niveles de 1990, porcentaje que se debería aumentar hasta el 60-80% en el año 2050; la reducción de un 20% del consumo de energía primaria; el aumento de un 20% de la contribución de las energías renovables, y, finalmente, el establecimiento del objetivo mínimo del 10% para los biocombustibles en el total de los combustibles utilizados en los vehículos.

Sin embargo, las facilidades de que se ha disfrutado en los últimos años en cuanto a suministros de combustibles de bajo coste, hacen problemática la consecución de esos objetivos en los términos y plazos previstos, para lo que, en todo caso, se precisa de un esfuerzo conjunto de política y de concienciación de la opinión pública. En este sentido, opiniones de personalidades muy relevantes relacionadas con la cuestión, mantienen que

la mentalización de la opinión pública para actuar en la prevención de los peligros que una modificación del clima puede traer consigo, tiene más valor que la fijación de unos límites y unas obligaciones por parte de las autoridades públicas, que deberán ser admitidas, pese a que en algunos momentos puedan ser difíciles de aceptar.

La mejora en la eficiencia en la producción y en el consumo de la energía disociándolo del crecimiento económico y de su impacto ambiental, merced al desarrollo tecnológico, así como a una modificación de los hábitos de vida y a un nuevo concepto de la ordenación territorial y urbana, han de constituir los principales pilares para alcanzar la mejora de la futura calidad de vida, nuestra y de quienes nos habrán de suceder en este mundo.

En concreto, los retos con que nos habremos de enfrentar en los próximos 10 años, con la vista puesta en los objetivos fijados para 2020, son, según la Unión Europea, fortalecer la participación de las energías renovables en la generación eléctrica y en el transporte, demostrando la disponibilidad comercial de la energía fotovoltaica y termosolar a gran escala, aumentando la capacidad de generación de las grandes turbinas eólicas aplicables a la zonas marinas y haciendo competitivos los biocombustibles.

4. EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Desde la Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX y hasta la segunda mitad del pasado, se mantuvieron latentes los criterios económicos como base del crecimiento de los pueblos, a los que progresivamente se fueron sumando los avances de orden social desde mediados del último de los siglos citados y de manera más acentuada en los años 1900, dando con ello lugar al muy utilizado término del *«desarrollo económico y social»*, cuando se hacía referencia a lo que debería ser el progreso humano.

Fue ya en las últimas décadas del siglo XX cuando el rápido crecimiento de la población en el mundo, y la no menos viva evolución de las formas de vida en los países más desarrollados, trajeron consigo una preocupación creciente por los hasta entonces descuidados aspectos medioambientales que comenzaban a hacer peligrar el progreso de su bienestar. A esto se fue sumando después la toma en conciencia del carácter finito de unos recursos naturales que son necesarios y la inquietud sobre su abastecimiento futuro

con que atender los cada vez mayores consumos en que se venía fundamentando su progreso económico y social.

Hace más de treinta años, en 1972, a solicitud del Club de Roma, el Instituto Tecnológico de Massachussets elaboró el informe «*Los límites del crecimiento*», que relacionaba la evolución de la población humana con la explotación de los recursos naturales en el horizonte del año 2100, subrayando la que podría llegar a ser escasez de algunos minerales y materias primas, de no tomarse las medidas necesarias para mejor ordenar ese crecimiento.

Por otra parte, la Conferencia sobre Medio Humano de Naciones Unidas, que fue la primera de las Cumbres de la Tierra, puso ya de manifiesto la inquietud por los problemas inherentes al medio ambiente. De entonces acá han venido siendo innumerables y cada vez más frecuentes las reuniones de ámbito internacional dedicadas a las muy variadas materias encuadradas bajo la designación de «*medioambientales*».

Creo oportuno recordar aquí la fecha de 1987, en que el tan traído y llevado término «*desarrollo sostenible*», quedó acuñado en el Informe Brundtland de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, siendo definido como «*el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades*». El Programa del Medio Ambiente de Naciones Unidas y Fondo Mundial de la Naturaleza, en 1991 lo define como «*aquél que puede mejorar la calidad de vida de una determinada comunidad, dentro de los límites de los ecosistemas*». Por su parte, el Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales lo describe en 1994, como «*el que no hace peligrar la viabilidad de los sistemas naturales, constituidos y sociales, de los que dependen la oferta de servicios ambientales, sociales y económicos básicos a todas las personas*».

El concepto de «desarrollo sostenible» no ha de tomarse, pues, en consideración exclusivamente por sus razones ambientales, sino que ha de atender el desarrollo económico y el progreso de los niveles sociales del colectivo considerado. En apoyo de lo señalado se pronunció el documento final de la Cumbre Mundial de 2005, al dictaminar que los tres componentes del desarrollo sostenible, esto es, el económico, el social y el medioambiental son los tres pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente.

En este contexto, también conviene recordar lo manifestado en la Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural, de la UNESCO en 2001, en el sentido de que «*la diversidad cultural es tan necesaria para el género humano, como la diversidad biológica para los organismos vivos*», extendiendo de este modo al concepto cultural, como un cuarto ámbito, el alcance del desarrollo sostenible.

De esa interdependencia habla el hecho de que aún siendo necesario el progreso económico de los pueblos, particularmente en el caso de los menos desarrollados como más desfavorecidos que son hoy en día, junto con el asimismo preciso avance en el bienestar social, saludable y cultural, su crecimiento incontrolado puede llevar a la aparición de graves problemas medioambientales a nivel local o, incluso global, que pongan en peligro el futuro del Hombre, al llevar a un agotamiento a plazo más o menos largo de recursos naturales y materias primas finitas, como son los combustibles fósiles y otros de origen mineral, o al colocar en serio riesgo la biodiversidad del Planeta.

El principio de «*sostenibilidad ambiental*» trae consigo la preservación del capital natural. Precisa que nuestro consumo de recursos minerales, hídricos y energéticos renovables no sobrepase la capacidad de los sistemas naturales para reponerlos y que la velocidad a la que se vacían los recursos no renovables no supere el ritmo de sustitución por los renovables más duraderos. Además, la sostenibilidad ambiental requiere que la cadencia en la emisión de residuos y contaminantes no sobrepase la capacidad del suelo, del agua o del aire para absorberlos y procesarlos. Implica también el mantenimiento a corto y largo plazo de la salud pública y de la calidad de ese aire, agua o suelo para preservar el progreso del bienestar humano, así como de la biodiversidad.

Pero estos términos no reflejan sino planteamientos muy generales, válidos como guías genéricas básicas para fijar grandes objetivos con que enmendar una determinada situación, pero que, precisamente por ese carácter, se precisa su concreción para una mayor facilidad de aplicación, por medio de la sostenibilidad temática, como pueden ser la «*sostenibilidad energética*», «*sostenibilidad hídrica*», «*movilidad sostenible*» o «*sostenibilidad local*», si se desea analizar distintos comportamientos de sociedades diferentes, examinando sus impactos ambientales respectivos.

Como se sabe, la «*huella ecológica*» es un indicador complejo que contempla muchos aspectos relacionados con el impacto ambiental en el

sentido más amplio del desarrollo sostenible, describiendo la presión sobre la biosfera que surge del consumo humano de los recursos naturales y cuantificando la superficie equivalente de la Tierra que resulta necesaria para satisfacer ese consumo y para admitir los residuos que la actividad del hombre origina.

Por su parte, se define como la «*capacidad de carga*», la extensión biológica disponible para la producción de los recursos demandados, la evacuación de los residuos y la asimilación del CO₂ antropogénico emitido, una vez descartado un 12% de la superficie biológica producida de la Tierra, para la conservación de la biodiversidad.

Finalmente, de la comparación entre los valores de la huella ecológica y la capacidad de carga, el «*déficit ecológico*» cuando la primera es superior a la última.

Según señala en un informe reciente de la Global Footprint Network, aparece que la huella ecológica global de la Humanidad era en el año 2003 de 2,2 hectáreas por persona, mientras que la capacidad total de carga del Planeta no pasaba de 1,8 hectáreas por habitante, originándose, pues un déficit ecológico de 0,4 hectáreas que representa un exceso casi de 25% sobre su capacidad de regeneración. De la consideración de estas cifras, fácil es colegir la insostenibilidad en que se encuentra en estos momentos el mundo.

La separación de la huella ecológica en sus componentes pone de manifiesto la contribución de cada una de las actividades humanas en la demanda total sobre el Planeta. En este sentido, es de resaltar que la huella ecológica del CO₂ tan relacionada con el consumo de energía, se corresponde con la biocapacidad requerida para absorber y almacenar este gas no secuestrado por medios humanos restándole la cantidad que absorben los océanos. Es el componente que más contribuye, situándose en el entorno del 50% de la huella total y siendo el de mayor crecimiento a lo largo de los tiempos.

En España la huella ecológica de 2005 calculada por el Ministerio de Medio Ambiente, ascendió a 6.4 hectáreas por persona, con un aumento del 19% en el decenio 1995-2005 y un ritmo medio de 0,1 hectáreas por año. Por su parte, la capacidad de carga en el último año citado fue de 2,6 hectáreas por habitante, lo que da origen a un déficit ecológico en nuestro país

muy próximo a las 4 hectáreas. Aunque parece más razonable efectuar las comparaciones con la biocapacidad total mundial, toda vez que la superficie de un determinado país o región no tiene por qué guardar relación con los consumos individuales de sus habitantes, nuestro déficit ecológico sigue siendo alto, ya que la incidencia de la huella española por persona sobre la capacidad de carga del mundo, medida también por habitante, representa más de tres veces la que le debiera corresponder para mantenerse dentro de los límites de la sostenibilidad.

En cuanto a la energía, su componente dentro de la huella ecológica española en el año 2005 era de 4,3 hectáreas «per capita», lo que representa el 67% de la huella total; valor muy elevado a tener muy presente para luchar decididamente por aminorar la contribución española a los consumos de los combustibles fósiles que más CO₂ emiten a la atmósfera. De esta huella energética, sus dos principales integrantes eran la producción de los bienes de consumo, por significar más de un 47%, una vez incorporados los consumos energéticos directos y la energía contenida en los bienes importados, seguida por el sector del transporte con un 23%.

Pese a las limitaciones que existen en cuanto a los datos y consideración sobre la totalidad de los factores que deben formar parte de la huella ecológica, la información que proporciona este indicador es suficiente para modificar anteriores hábitos de nuestra forma de vida, abordando nuevas políticas y costumbres con que ir reduciendo su creciente influencia negativa en la sostenibilidad de nuestro Planeta.

Una reducción significativa de la huella energética pasa por enfoques innovadores que permitan un descenso significativo de la cantidad de recursos de la Tierra que se utilizan en los sistemas de generación y uso de la energía, o lo que es lo mismo, que conduzcan a una mayor eficiencia en su producción y consumo.

Lo mismo cabe señalar para los demás recursos minerales no energéticos, cuya demanda en el futuro irá en aumento, tanto por el crecimiento de la población mundial —se estima que en el año 2050, llegue a los 9.300 millones de habitantes—, como por el desarrollo económico del mundo y muy en especial de los países de economía emergente. De la misma manera que los energéticos, su utilización puede suponer un obstáculo para la sostenibilidad del mundo de dos maneras. En primer lugar, porque su consumo pudiera hacer disminuir los recursos físicos, hasta el punto de hacerlos

escasear en un hipotético futuro, lo que llevaría a marcar objetivos para limitar su aprovechamiento o sustituirlos por otros, con objeto de no atentar contra el desarrollo de generaciones futuras; en segundo término, porque los impactos ambientales causados por los procesos extractivos reduzcan la calidad del medio ambiente —sea la del aire, la del agua o la del subsuelo—, poniendo en peligro los ecosistemas o la misma calidad de vida del Hombre, para lo que será preciso fomentar decididamente la investigación de nuevas tecnologías limpias en la generación y en el consumo del producto final.

En cuanto a las reservas de estas materias primas, la mayor parte de las correspondientes a los metales y minerales no metálicos cubren no más de unas pocas décadas de las producciones que en cada caso se hayan planificado para su explotación, constituyendo solamente una pequeña parte de los recursos físicos totales, pues normalmente los esfuerzos en las prospecciones geológicas no se llevan más allá de lo necesario, en tanto existan suficientes reservas probadas sobre las que actuar. Hasta recientemente se han cuantificado como «reservas» aquellas existencias de minerales que están probadas y que pueden ser extraídas con las circunstancias económicas y tecnológicas de cada momento, por lo que su cuantificación puede variar en el tiempo, según vayan modificándose coyuntural o definitivamente algunas de estas circunstancias. Pero ahora no debe bastar con estas premisas para esa cuantificación, por cuanto que cada vez hay que tomar más en consideración lo que se conoce como «*capital natural limpio*», es decir la parte de las reservas disponibles, una vez descartado el valor físico de las necesarias para atender al control del impacto ambiental.

Por lo que se refiere al medio ambiente y minería, la cada vez mayor preocupación del Hombre por la alteración del medio ambiente, ha hecho que desde mediados del pasado siglo se venga progresando en una nueva mentalidad para el cuidado ambiental de las explotaciones mineras, cualesquiera que sea su modalidad —a cielo abierto, subterráneas, por disolución u otras—, y avanzando en la puesta en práctica de tratamientos preventivos, que añadir a los curativos primeramente aplicados, tal como ocurre con la obligada restauración de las labores de extracción efectuadas a cielo abierto, por cierto, de obligada realización por una legislación minera anterior en este caso a la medioambiental.

Pero para la valoración del aprovechamiento de los recursos minerales, se hace precisa, cada vez en mayor medida, la puesta en práctica de nuevas *Herramientas de Gestión Ambiental*, tales como el Análisis del «*Ciclo de Vida*»

del recurso, que estudia las cuestiones ambientales y los impactos previsibles, que llevan a un mineral, como materia prima original a un producto aprovechable para su utilización en la industria, así como a un residuo a eliminar o a depositar sin repercusión sobre el medio ambiente.

Partiendo de que la «*exergía*» representa aquella fracción de la energía que pueda convertirse en trabajo, es decir, el «*trabajo disponible*» de un sistema, el *Análisis Exergético* es otra de las Herramientas de Gestión Ambiental, a utilizar para valorar las cadenas productivas de una materia prima, dando un peso especial a la eficiencia en el consumo energético. Este análisis permite conocer los costes exergéticos de abatimientos de las emisiones que, por ejemplo, causaría el uso de las reservas conocidas de los combustibles fósiles en el mundo, los cuales llevan a estimar su «*capital natural limpio*» en un 89% del total de sus reservas.

Para concluir estas consideraciones sobre los recursos minerales y el desarrollo sostenible, es obligado recordar el importante puente que suponen las tecnologías medioambientales para alcanzar el logro de una economía competitiva y dinámica, al tiempo que sostenible, de forma que el crecimiento no suponga necesariamente un perjuicio para el medio ambiente y se protejan los recursos naturales desde el proceso de producción hasta el final de la vida útil del producto y su posterior tratamiento al convertirse éste en residuo. Las tecnologías medioambientales incluyen las tecnologías integradas que impiden que se generen contaminantes en el proceso de producción, y las tecnologías de final de proceso que reducen la emisión al medio ambiente de los contaminantes que inevitablemente se producen. Las primeras son con frecuencia más ventajosas, ya que evitan los costes adicionales que conlleva el equipamiento suplementario que sería necesario y, a la vez, dan lugar a procesos de producción más eficaces.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Internacional de la Energía.- «*World Energy Outlook 2007*», Club Español de la Energía.- 2008.
2. Alan Moreno, S.- «*Valoración de las cadenas productivas de la minería metálica global, usando herramientas innovadoras de gestión ambiental*». Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.- 2007.
3. Álvarez Pelegry, E.- «*Energía y cambio climático*». Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «*Industria y Minería*», Nº 372.- 2007.
4. Armengot, J.; Espí, J.A.; Vázquez, F.- «*Orígenes y desarrollo de la minería*».- *Industria y Minería*.
5. Ayala Carcedo, F.J. (Dirección) et al.- «*Historia de la tecnología en España*».- VALATENEA.- 2001.
6. Ayala Carcedo, F.J.- «*Introducción a la historia económica de España*».- Vol. I.- VALATENEA.- 2001
7. Ayuntamiento de Madrid.- «*Plan de Uso Sostenible de la Energía y Prevención del Cambio Climático de la Ciudad de Madrid*».- 2008.
8. Baretino, D.; Obis, J.; Espí, J. A.- «*La energía extractiva no energética en el marco del desarrollo sostenible*».- Instituto Geológico y Minero de España.- 2005.
9. Biblioteca BEN BUSCH.- «*La energía y el medio ambiente*».-2006.
10. Botero García, A.- «*Valoración energética de recursos naturales, minerales, agua y combustibles fósiles*».- 2000.
11. Bravo, C.- «*La energía nuclear: paradigma de la insostenibilidad*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «*Industria y Minería*», Nº 372.- 2007.
12. Castejón, F.- «*Cambio climático y energía*».-Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «*Industria y Minería*», Nº 372.- 2007.

13. Castelló Boronat, F.- *«Energía y cambio climático»*.- «Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.
14. Carbajo Josa, A.- *«La encrucijada energética: una visión general hacia una estrategia de la energía»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas. Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería».- 2006.
15. Centro Nacional de Energías renovables.- *«Las energías renovables en España. Diagnóstico y perspectivas»*.- 2006.
16. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Desarrollo de un plan de actuación en materia de tecnología medioambiental»*.- Informe de la Comisión. COM (2003) 13 final.
17. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Hacia una estrategia temática para el uso sostenible de los recursos naturales»*.- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo.- COM (2003) 572 final.
18. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Fomento de las tecnologías en pro del desarrollo sostenible.- Plan de actuación a favor de las tecnologías ambientales en la Unión Europea»*.- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo.- COM (2004)38 final.
19. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Hacia una estrategia temática sobre el medio ambiente urbano»*.- Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones.- COM (2004) 60 final.
20. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Revisión de la Estrategia para un desarrollo sostenible. Plataforma de acción»*.- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo.- COM (2005) 658 final.
21. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«Sobre una Estrategia temática para el medio ambiente urbano»*.- [SEC (2006) 16].
22. Comisión de las Comunidades Europeas.- *«LIBRO VERDE: Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura»*.- [SEC (2006) 317].
23. Consejería de Economía y Fomento. Junta de Andalucía.- *«La minería andaluza»*.- 1986.
24. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Comunidad de Madrid.- *«El recorrido de la energía en la Comunidad de Madrid»*.- 2004.
25. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- *«La minería en España. Situación actual y posibilidades de desarrollo»*.- 1996.
26. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- *«Activos ambientales de la Minería Española»*.- 2007.
27. Cuadernos del Foro de Pensamiento Actual nº 1. Fundación IBERDROLA.- *«Principios Físicos del Desarrollo Energético Sostenible»*.- 2003.
28. Del Valle Doblado, J.L.- *«Las energías renovables en la generación eléctrica»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.

29. Díaz Fernández, J.L.- *«Reflexiones sobre el sector energético»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- Congreso de los Diputados.- 2006.
30. Díaz Fernández, J.L.- *«Los hidrocarburos minerales y los biocarburantes»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.
31. Espí, J. A.; Berrezueta, E.- *«El análisis de la gestión de los recursos naturales. La huella ecológica como medida del esfuerzo de la Naturaleza»*.- Agua, minería y medio ambiente. Libro Homenaje al Profesor Rafael Fernández Rubio.- IGME.- 2005.
32. Espí, J. A.; Vázquez, F.- *«La minería española en el 2006»*.- Industria y Minería.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- 2007.
33. Espí, J. A.; Vázquez, F.- *«La minería española en el 2007»*.- *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid*.- 2008.
34. Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid / Ayuntamiento de Madrid.- *«Medioambiente y alternativas energéticas sostenibles»*.- 2004.
35. Fundación para Estudios sobre la Energía.- *«Gestión de Residuos Radiactivos: Situación, Análisis y Perspectiva»*.- 2007.
36. García-Loygorri Ruiz, A.- *«Los recursos españoles de carbón en la nueva dimensión comunitaria»*.- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.- 1990.
37. García-Loygorri Ruiz, A.- *«La ciudad y el medio ambiente»*.- Instituto de España.- 2008.
38. González Jiménez, A.- *«La energía nuclear y el desarrollo sostenible»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.
39. Gutiérrez Jodra, L.- *«Cambio climático: prolegómenos, consecuencias previsibles y posibles mitigaciones»*.- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Revista vol. 101, nº 1.- 2007.
40. Hevia Cangas.- *«El petróleo»*.- Historia de la Tecnología en España.- Vol. I.- VOLATENEA.- 2001.
41. Holst Jorgensen, Birte.- *«Tecnologías clave para la energía en Europa»*.- Informe de Vigilancia Tecnológica. Madrimasd.- 2005.
42. IMDEA Energy.- *«R&D and Innovation Analysis-CO₂ Storage and Utilization – Management of Electricity Demand»*.- January 2008.
43. Inter Academy Council.- *«Lighting the way. Toward a sustainable energy future»*.- October 2007.
44. Lamela, A. *«Ordenamiento territorial, urbanismo y arquitectura para un desarrollo sostenible»*. Agua, minería y medio ambiente. Libro Homenaje al Profesor Fernández Rubio. IGME.- 2005.
45. Lamela, A. (Dirección) et al.- *«Estrategias para la Tierra y el Espacio. Geoísmo y Cosmoísmo»*.- Espasa Calpe.- 2007.
46. Larrea Paguaga, P.- *«Los mecanismos de flexibilidad en el cambio climático»*.- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cam-

- bio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería».- Nº 372.- 2007.
47. López Gimeno, C.; Llorente Gómez, E.; García Bermúdez, P.; Vega Calle, J.- «*El recorrido de los minerales en la Comunidad de Madrid*».- Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid.- 2007.
 48. Llabrés Estabén, J.M.- «*Los combustibles fósiles. Alternativa*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería».- 2006.
 49. Llamas Madurga, M.R.- «*Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos*».- Discurso inaugural del Año Académico 2005-2006.- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.- 2005.
 50. Martínez Val, J. M^a.- «*La energía Nuclear*».- Historia de la Tecnología en España.- Vol. I.- VOLATENEA.- 2001.
 51. Martínez Val, J. M^a.; Perlado, J. M.; Piera, M.- «*Principios Físicos del Desarrollo Sostenible*».- Fundación IBERDROLA.- 2003.
 52. Martínez Val, J. M^a. (Dirección) et al.- «*El futuro del carbón en la política energética española*».- Fundación para Estudios sobre la Energía.- 2008.
 53. Mathios Weber, K.- «*Tecnologías clave para la energía en Europa*».- Informe de vigilancia tecnológica. Madrimasd.- 2005
 54. Ministerio de Medio Ambiente.- «*Análisis preliminar de la huella ecológica en España*».- 2007.
 55. Pérez de Perceval, M.A.; López-Morell, M.A.; Sánchez Rodríguez, A. (eds.).- «*Minería y desarrollo económico en España*».- IGME.- 2006.
 56. Puche Riart, O.- «*La minería no energética*».- Historia de la Tecnología en España.- Vol. I.- VOLATENEA.- 2001.
 57. Puche Riart, O.- «*La geología*».- Historia de la Tecnología en España.- Vol. II.- VOLATENEA.- 2001.
 58. Real Academia de Ingeniería.- «*Jornadas sobre Ingeniería del Medio Ambiente*».- Palma de Mallorca.- 2003.
 59. Real Academia de Ingeniería.-«*Jornada de Reflexión sobre la Energía*».- 2006.
 60. Roldán Hervás, J. M.- «*Historia Antigua de España*».- UNED.- 2001.
 61. Sierra López, J.- «*Hacia una política energética y climática integrada en la UE: objetivos y perspectivas*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería».- 2007.
 62. Sotelo Sánchez, J.L.- «*Tecnologías para un desarrollo sostenible*».- Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 97. Nº 2.- 2003.
 63. Tejera Oliver, J. L.- «*El Protocolo de Kyoto*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- 2007.
 64. UNESA.- «*Prospectiva de generación eléctrica 2030*».- Diciembre 2007.

65. Valle Menéndez, A.- «*La minería del carbón*».- Historia de la Tecnología en España. Vol. I.- VOLATENEA.- 2001.
66. Velasco García, E.- «*La energía nuclear y las energías renovables*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas. Congreso de los Diputados.- 2006.
67. Velasco García, E.- «*El carbón sostenible*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.
68. Velasco García, R.- «*La visión política*».- Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.- «La energía y el cambio climático». Congreso de los Diputados.- «Industria y Minería», Nº 372.- 2007.
69. Vera, J. A.- «*El desarrollo sostenible en España*».- PINSAPO.- 2003.
70. World Energy Council.- «*Decidiendo el futuro. Escenarios de Política Energética para el 2005*».- Club Español de la Energía.- 2008.

