



2005-2015



PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA Y MINERÍA



BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA

**PLAN ESTRATÉGICO
PROGRAMA NACIONAL
DE INVESTIGACIONES EN
ENERGÍA Y MINERÍA**

**BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

**INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL
DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA
“FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS”**

COLCIENCIAS

**PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA
NACIONAL DE INVESTIGACIONES
EN ENERGÍA Y MINERÍA**

**BASES PARA UNA POLÍTICA DE PROMOCIÓN
DE LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO
TECNOLÓGICO EN COLOMBIA**

2005-2015

Bases para la formulación del Programa Nacional de
Investigaciones en Energía y Minería

Bogotá D. C., Noviembre de 2005

Coordinación editorial

Galo Edmundo Tovar
Angela Patricia Bonilla

Corrección de estilo

Lilia Carvajal Ahumada

Diseño y diagramación

Nelson Prieto Díaz

Impresión

Ochoa Impresores
Calle 78 No. 22-41

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología

“Francisco José de Caldas” Colciencias

Trv. 9 A Bis No. 132-28

Teléfono 57 1 625 8480

Fax 57 1 625 1788

www.colciencias.gov.co

contacto@colciencias.gov.co

Bogotá, D. C., Colombia

ISBN 958-8130-93-X

Impreso y hecho en Colombia

Printed in Colombia

“Esta publicación ha sido realizada por Colciencias, entidad del Estado cuyo objetivo es impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Colombia”.

© Derechos reservados. Colciencias. Primera edición 2005.

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología
“Francisco José de Caldas” Colciencias

Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería

Ministerio de Minas y Energía
Luís Ernesto Mejía Castro

Departamento Nacional de Planeación
Hernán Molina Valencia

COLCIENCIAS
María del Rosario Guerra de Mesa

Servicio Nacional de Aprendizaje
Gustavo Moreno Holguín

Unidad de Planeación Minero-Energética
Carlos Arturo Flórez Piedrahita

Sector Investigativo
Luís Alejandro Fonseca
Farid Chejne Janna
Héctor Cadavid Ramírez
Lesmes Corredor

Sector Productivo
Pablo Hernán Corredor
Fernando Samudio Rojas
Jaime Cadavid Calvo
Horacio Gamboa

Directora General Colciencias
María del Rosario Guerra de Mesa

Subdirector de Innovación y Desarrollo Empresarial
Álvaro Turriago Hoyos

Dirección técnica
Omar Fredy Prias Caicedo
Jefe del Programa Nacional de Investigaciones y en Energía y Minería

Apoyo técnico
Yesid Ojeda Papagayo
Asesor del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería

José Carlos Escobar Palacio
Profesional del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería

Revisión técnica
Ángela Cadena Monroy

Investigadores
Pedro Galindo
Claudia Aristizábal - CIDET
Lucio Mauricio Henao - CIDET
Willmar Zapata - CIDET

PRESENTACIÓN

La actualización de los planes estratégicos de programas y áreas de ciencia, tecnología e innovación, obedecen gratamente a ejercicios de reflexión permanente y de reorientación para la acción, que tienen como propósito consolidar las actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica, en el nuevo escenario de la innovación, la globalización y la competitividad.

Empresarios, investigadores, expertos de instituciones públicas y privadas de promoción, política, financiación y consultores, participaron en veintitrés talleres realizados en el país, a los que asistieron más de setecientas personas, que participaron entusiastamente en el análisis de los documentos elaborados por los consultores contratados para cada uno de los cuatro planes estratégicos.

El alcance de la actualización del Plan Estratégico de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática, es el de analizar las nuevas tendencias, desde el punto de vista tecnológico y de mercados, su convergencia e impacto y sobre esta base, reflexionar respecto a las oportunidades que tiene el país para ponerse a tono con la globalización y los retos para lograr una adecuada competitividad.

El Plan Estratégico del Programa de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad, propone la orientación estratégica y actualización del Plan, sus estrategias, líneas de acción e instrumentos, tendencias tecnológicas de la industria a nivel internacional, y consigna su situación actual y las perspectivas futuras de las políticas principales que lo orientan y que ejecuta.

El Plan Estratégico del Programa Nacional de Ciencias y Tecnología Agropecuaria, introduce elementos para contextualizar la situación mundial de la agricultura, identifica las tendencias del sector y el comportamiento de la estructura agraria, hace una aproximación a la situación de las cadenas productivas, identifica las perspectivas del mercado y, en función de ellas, delimita las brechas tecnológicas para cada cadena y establece prioridades en desarrollo científico y tecnológico.

El Plan Estratégico del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, propone cinco grandes finalidades hacia las cuales debe tender el aporte de la actividad de ciencia y tecnología: el desarrollo y la productividad económica; la conformación de mercados y la regulación; el desarrollo humano y social; la sostenibilidad ambiental, y la integración regional.

El presente documento es el comienzo de un diálogo, que nos plantea la necesidad de que en Colombia compartamos una visión de futuro del desarrollo a partir de la investigación y de la innovación por parte del gobierno nacional, los ministerios e instituciones públicas y privadas, los organismos de financiación, los gremios de la producción, las empresas, los trabajadores y la sociedad en general.

MARÍA DEL ROSARIO GUERRA DE MESA
Directora General de Colciencias

CONTENIDOS

Introducción	11
---------------------------	----

Capítulo I

<i>Contexto minero y energético internacional</i>	17
A. El sector minero	17
B. El sector energético	22

Capítulo II

<i>Aportes y tendencias de la ciencia y la tecnología en minería y energía</i>	31
A. Minería	31
B. Energía.....	33
C. Integración en materia de ciencia y tecnología.....	43

Capítulo III

<i>Contexto minero y energético nacional</i>	49
A. El panorama minero	49
B. El panorama energético.....	51

Capítulo IV

<i>Avances en ciencia y tecnología en el país</i>	57
A. Agentes y gestores del sistema de ciencia y tecnología en los sectores minero y energético.....	58
B. Análisis de la información de Colciencias	60

Capítulo V

<i>Escenarios futuros por sector</i>	67
A. Problemáticas sectoriales y de investigación y desarrollo	68
B. Problemática general de la investigación y el desarrollo	75

Capítulo VI

<i>Propuesta de Programa Nacional de Investigaciones en minería y energía</i>	81
A. Visión, misión, objetivos, y componentes	81
B. Estrategias para el funcionamiento del programa.....	82
C. Líneas de acción.....	83
D. Metas para el mediano y largo plazo: al 2010 y al 2015.....	87
Bibliografía	91

INTRODUCCIÓN

Colombia ante la globalización de la economía requiere de una política clara que exprese su proyecto de desarrollo económico y social y dé sentido a las relaciones de sus habitantes con la naturaleza, con miras a la construcción del bienestar de su población. El país enfrenta grandes retos tanto internos como externos; su inserción en la economía mundial es cuestionada y se está quedando rezagado incluso respecto a otros países latinoamericanos. No hemos encontrado soluciones de fondo a la violencia en todas sus expresiones, al narcotráfico con sus múltiples consecuencias, a la corrupción, a las desigualdades, al atraso en educación, al desempleo, al abandono del campo, y a muchos otros problemas (Mosquera y Estrada, 1997).

La solidez con la que actúe la nación dependerá, entre otras cosas, de la fortaleza con la cual desarrolle y construya su propia política de ciencia y tecnología. Esta política, además de responder a potencialidades y necesidades particulares (locales o nacionales) debe ser definida desde el punto de vista de problemáticas de regiones más amplias a las nacionales. Colombia y América Latina son dos proyectos políticos concordantes que se contienen y definen su futuro a partir de su propio propósito de sentido histórico de sociedad. Ese propósito responde a la particularidad histórica de ser colombianos y latinoamericanos, unión de múltiples diversidades y parte de la especie humana.

La definición de un rumbo de política en ciencia y tecnología en el campo de la minería y la energía, debe hacerse tomando en consideración el contexto económico internacional, las perspectivas en materia de ciencia y tecnología y el examen del ámbito nacional, sus prioridades y las situaciones futuras. Esto

determina la misión que compete a los interesados en la identificación de las necesidades y en la definición de las prioridades de investigación sobre la materia. La posibilidad son nuestras propias respuestas. “Mientras no tengamos una visión del futuro que señale un norte o rumbo compartido que permita canalizar la capacidad de trabajo y creatividad de los colombianos y trazar políticas de largo plazo, nuestro progreso será lento y tortuoso” (Mosquera y Estrada, 1997).

Cada día es más cierto que los procesos de globalización y de liberalización de mercados deben conducir a una mayor eficiencia en el suministro y utilización de los recursos naturales, y al mismo tiempo introducir una mayor orientación de negocios y agentes participantes en la toma de decisiones. Las diferentes medidas de regulación y control ambiental, tanto en el plano local como global, llevarán a una mayor penetración de nuevas fuentes, tecnologías y procedimientos de extracción y utilización de recursos minerales y energéticos. La sostenibilidad del desarrollo, desde una perspectiva energética, exige, disminuir las presiones sobre la agotabilidad de los recursos y además facilitar el acceso de los sectores menos favorecidos a formas comerciales de energía, mientras contribuye con la disminución de la pobreza.

En consecuencia, se puede afirmar que las variables tecnológica e institucional tienen una importancia crítica para Colombia, donde la participación de los sectores minero y energético deberá ser significativa para soportar el crecimiento económico y mejorar las condiciones de desarrollo de la población. El reto radicará en la posibilidad de sustentar una buena dinámica de crecimiento con trayectorias de menor impacto ambiental.

Lo anterior dependerá de la posibilidad de establecer y mantener las instituciones adecuadas y las reglas del juego para lograr la eficiencia económica, viabilizar esquemas para la atracción del capital necesario, y garantizar la distribución de los excedentes generados con estos nuevos esquemas. Así mismo, estará supeditado a la capacidad de construir y mantener una base científica y tecnológica que permita la adecuada adopción y adaptación de nuevas tecnologías a necesidades y condiciones locales, y lo que sería aún más interesante e importante, saltar etapas tecnológicas hacia sistemas más modulares y flexibles, que se adecuarían fácilmente a la geografía nacional y sus condiciones de conflictividad.

El análisis de las propuestas de ciencia y tecnología permite abstraer conclusiones acerca de las necesidades de establecer soluciones científicas y técnicas construidas desde la escuela, como sistema reproductor de la cultura, que reconozcan la identidad de los diferentes grupos y apoyen las iniciativas de diversos sectores, aparte de estimular las potencialidades e incrementar las capacidades de producción y desarrollo humano sostenibles y poner en circulación el conocimiento, mientras fortalecen el intercambio de culturas entre nacionales y extranjeros.

El país a través de Colciencias, ha publicado dos planes de investigación y desarrollo para el sector energético y uno para el sector minero. El primero de ellos (Ministerio de Minas y Colciencias, 1985) denominado Programa Nacional de Ciencia y Tecnología en Recursos Energéticos, proponía cinco subprogramas: Desarrollo carbonífero; Conservación y sustitución de energía; Bienes de capital y desarrollo industrial; Desarrollo, adaptación y difusión de tecnologías, y Planificación energética, sistemas de información y capacitación. Cada uno contaba con líneas de acción y una propuesta de mecanismos para implementarlo. Uno de estos mecanismos consistió en la constitución de convenios con las entidades estatales encargadas de administrar la oferta energética del país y procuraba aunar recursos y esfuerzos para la consecución de los objetivos trazados. El Fondo Nacional de Investigaciones del Carbón (FONIC) es un ejemplo relativamente exitoso de esta estrategia¹.

Entre este programa y el segundo plan se publicó un documento denominado 'Ciencia contra la oscuridad', el cual hacía parte de una serie de publicacio-

nes generales y sectoriales editadas con motivo de la constitución del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y la creación de los programas nacionales entre ellos el de minería y energía, en el marco de la Ley 29 de 1992.

El segundo plan de ciencia y tecnología para los sectores de minas y energía, denominado Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería (PIEM), fue preparado por Colciencias (DNP y Colciencias, 2000) con el liderazgo de los consejeros del programa y con la colaboración de la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía (UPME), luego de un largo periodo de consultas y discusiones. Este plan tenía como objetivo general promover la investigación, la innovación y la transferencia de tecnologías en los procesos, productos y servicios energéticos y mineros, con el fin de incrementar su contribución al desarrollo económico y social del país. También buscaba la generación de mecanismos de cooperación entre el Estado y los privados y la asignación consensuada de recursos.

Es posible afirmar que el resultado del plan es el avance en la consolidación de la capacidad científica nacional, y particularmente de la interacción con las instituciones y empresas del sector energético en los últimos cuatro años. De hecho, existen casi 90 grupos de investigación reportados en la Red Scienti de Colciencias. Se han formado 35 profesionales entre maestrías y doctorados y se han financiado más de 190 proyectos de investigación, la mayoría de ellos al sector universitario.

Por otra parte, es importante anotar que los planes energéticos y mineros de la UPME han incorporado entre sus estrategias y líneas de acción, actividades de investigación y desarrollo y en algunos periodos han apoyado a Colciencias en la financiación de algunas iniciativas y proyectos. No obstante lo anterior, se requiere de una relación más formal y robusta que facilite la realización de trabajos de ciencia y tecnología de largo plazo, y coadyuve en la incorporación de los resultados logrados por los investigadores a las operaciones del sector.

Colciencias ha pensado en reestructurar sus programas nacionales y en consecuencia reorganizar el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Como aporte a este proceso el Programa de Minería y

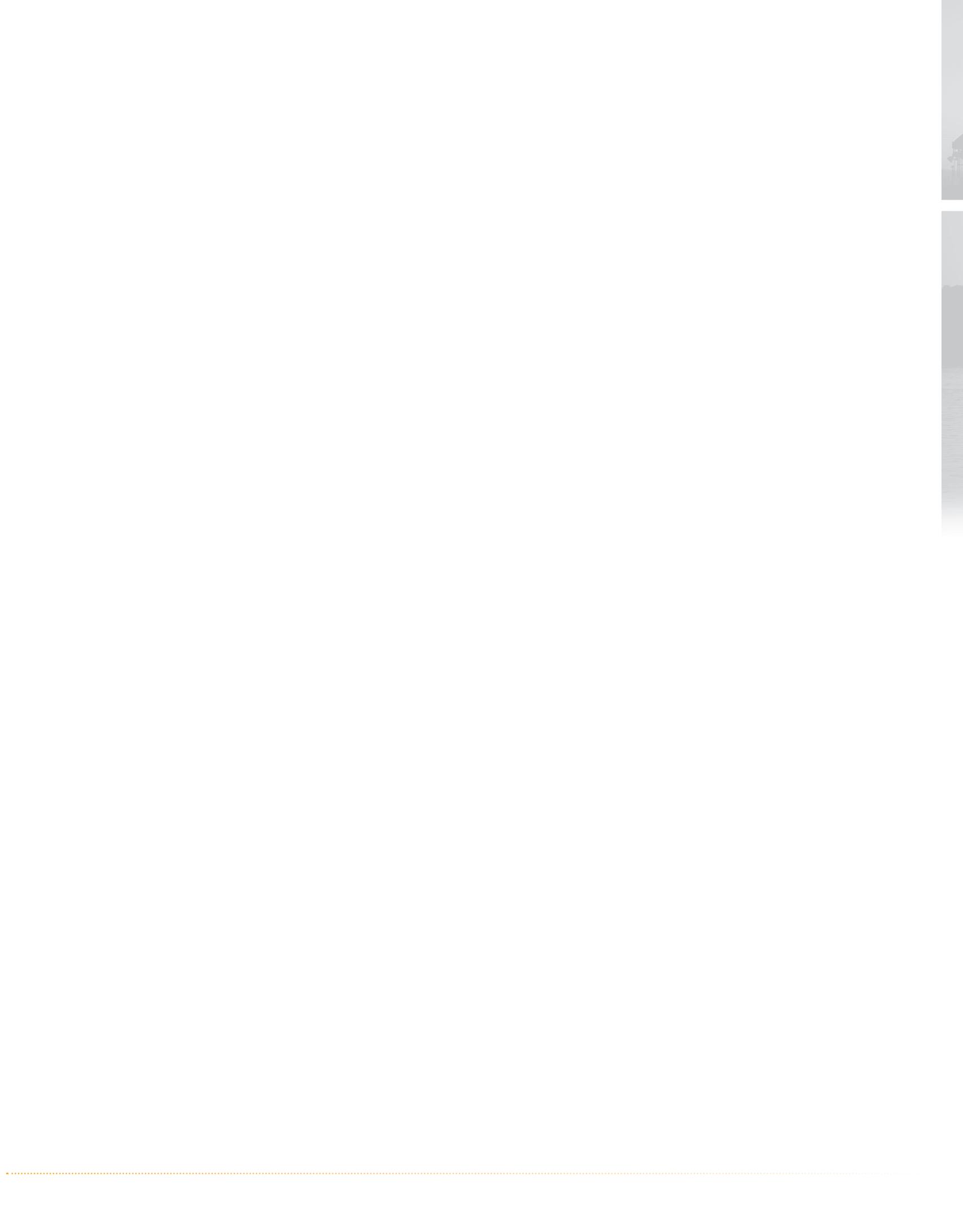
¹ Una evaluación detallada de los resultados y problemas del FONIC puede encontrarse en: COLCIENCIAS (2005) FONIC Laboratorio De Ciencia y Tecnología Para El Carbón. Bogotá.

Energía adelantó, con el concurso de la Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET), una serie de talleres para detectar los problemas y barreras existentes. En este documento se presentan los resultados de esos talleres y se propone una actualización de los objetivos y estrategias del PIEM acordes con la nueva política en materia de ciencia y tecnología. El documento está organizado de la siguiente manera: En los dos primeros capítulos se hace una presentación del panorama minero y energético internacional y de las perspectivas y el papel de la ciencia y la tecnología en estos sectores. El tercer capítulo describe el panorama nacional sobre la base de lo consignado en el Plan de Desarrollo Minero y en el Plan Energético Nacional (PEN) publicados por la UPME. El capítulo cuarto trae un análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados de la actividad de financiamiento y apoyo de la investigación y desarrollo llevada a cabo por Colciencias en la última década. El capítulo cinco expone, en primer lugar, la problemática sectorial y los ejes establecidos en los talleres, alrededor de los cuales es necesario trabajar para superar las dificultades. En segundo lugar, hay una síntesis que servirá de fundamento para

la elaboración del plan. Con estos elementos, más los aportes de los expertos invitados a un último taller en la ciudad de Bogotá, el capítulo sexto propone una primera versión del Plan de Investigaciones en Minería y Energía.

Se espera que este documento constituya los cimientos para la construcción de un plan con la participación de todos los componentes, para lo cual se propone la creación del foro minero-energético en la Red Caldas, la utilización del software para la realización de ejercicios prospectivos (Calibrium) para seguimiento y evolución del plan, y la realización de un foro con miras a la socialización del proceso de planeación estratégica.

De esta manera, se promueve una reflexión dinámica sobre el plan, con el fin de hacer los ajustes necesarios para el logro del futuro propuesto, e identificar los aprendizajes que justamente enriquecen el proceso emprendido de construcción colectiva, como efectos multiplicadores de la experiencia con la ciencia y la tecnología en función del desarrollo del sector y del país.





CAPÍTULO I

CONTEXTO MINERO Y ENERGÉTICO INTERNACIONAL

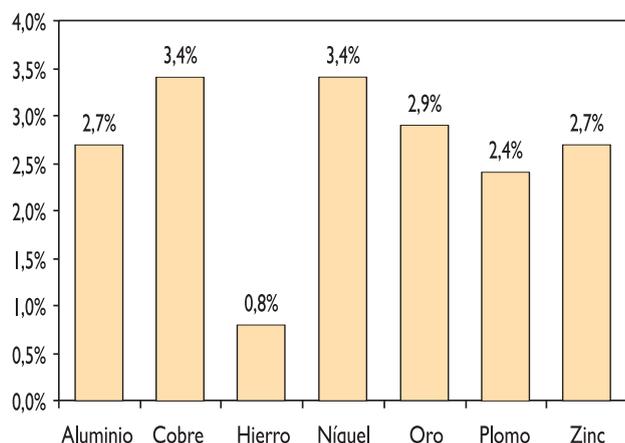
CONTEXTO MINERO Y ENERGÉTICO INTERNACIONAL

A. EL SECTOR MINERO

Según reportes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2002) y otras estimaciones, la tasa de consumo de los principales minerales ha aumentado a un ritmo superior al crecimiento del PIB mundial. El Gráfico I muestra el crecimiento promedio anual de los principales minerales en el periodo 1990-2001 (con excepción del plomo y el hierro) el cual fue mayor al de la economía mundial cuyo promedio en el mismo lapso fue de 2,6%².

GRAFICO I

CONSUMO DE MINERALES (1990-2001)



Fuente: CEPAL, World Bureau of Metal Statistics, Unctad y United States Geological Service

Las decisiones mineras de inversión y operación son cada vez más complejas como resultado del fenómeno de globalización y han fomentado cambios, acuerdos y estándares regulatorios y fiscales en el mundo. Mientras que en los setenta y ochenta la mayoría de las exploraciones tuvieron lugar en Australia, Canadá, Estados Unidos y Sudáfrica, en los últimos años aumentó el presupuesto dedicado a estas actividades en los países en desarrollo. Actualmente, en Latinoamérica y África se realiza más del 45% del gasto exploratorio mundial.

Para el primer decenio de este siglo se espera que la cartera de inversiones mineras en América Latina se sitúe alrededor de un tercio del total de las inversiones mundiales, mientras que en América del Norte se daría el 25,5%, en Asia el 17,6% y en África y Australia y Oceanía cerca del 11,5% en cada una de ellas. La inversión depende de numerosos factores, entre los cuales está el ciclo natural de precios de los metales, que influirá, sin duda, en materializar estas expectativas. Otro de los determinantes lo constituyen los desarrollos tecnológicos que mejoran las posibilidades de descubrir nuevas reservas y de incrementar la producción. La incertidumbre en el precio de los metales y el alto costo de la tecnología hacen que las empresas escojan áreas no solo por su alto potencial minero y las ventajas económicas que ofrezcan, sino porque brinden el marco legislativo y fiscal necesario para asegurar que un descubrimiento pueda ser puesto en producción a un costo razonable.

De acuerdo con las previsiones realizadas y presentadas por la CEPAL (2004), la inversión en América

² Este hecho se explica en parte por la estabilización de los precios de la energía que a comienzos de los años setenta se habían incrementado, lo que disminuyó el consumo de estos materiales.

Latina se destinaría en su orden al cobre (66%), hierro (12,5%), aluminio (9,03%), oro (6,6%) y otros. En relación con el carbón, este seguirá participando con alrededor del 25% de la oferta energética primaria a escala mundial. Si se tiene en cuenta que el aporte actual a la producción de minerales y metales de nuestra región está ligeramente por encima del 20% de la producción mundial, se puede esperar que estas inversiones generen mayor actividad de exploración y explotación en nuestros países. Con ese objetivo la mayoría de los gobiernos han modificado prácticamente todas las legislaciones mineras y de impuestos.

I. Oportunidades de desarrollo de los diferentes minerales

El desarrollo de nuevas tecnologías de exploración, producción y procesamiento de minerales ha incrementado la actividad en este campo. Estas tendencias son evidentes a partir de la década de los noventa y en el largo plazo muestran una perspectiva positiva. Reducciones fuertes en los precios de los minerales o crisis económicas podrían afectar estas expectativas. Las oportunidades están dadas, pero conseguir y generar el capital para sacar ventaja de ellas será un reto en el mediano plazo.

Las compañías emplean modernas técnicas de exploración para establecer los campos o cinturones mineros más prometedores en el sentido de buen nivel de producción y excelentes condiciones de calidad. En general, los depósitos más accesibles para la exploración se encuentran en Australia, Canadá y Estados Unidos, sin embargo, Latinoamérica, África y el sudeste pacífico están considerados como prometedores por sus oportunidades, principalmente, desde el punto de vista geológico.

En relación con los diferentes minerales, se puede señalar que el cobre y el oro se mantendrán como los objetivos principales de exploración para las grandes compañías internacionales; los mayores depósitos están concentrados en las regiones de la Costa Pacífica y Atlántica de Norte y Sudamérica, así como el sudeste de Asia y el oriente de Australia. Como resultado de excelentes estudios geológicos, la mayoría de los descubrimientos han sido localizados en los Estados Unidos y Chile. Un aumento en la inversión facilitará la realización de descubrimientos en nuevas áreas en el Pacífico, como ha venido sucediendo en Perú y Filipinas (Heffernan, 1998).

Los otros dos minerales metálicos que concentrarán la atención de los inversionistas son el níquel y el cinc. Respecto a las piedras preciosas, se espera que la inversión en diamantes se mantenga constante, después de la gran actividad desplegada en Canadá en la última década.

Finalmente, en relación al carbón, se puede anticipar que este mineral continuará con niveles importantes de inversión, dada la significativa participación prevista en las balanzas energéticas de los países en expansión, como es el caso de los asiáticos, lo cual permitirá contrarrestar las reducciones en el consumo que se puedan presentar en Europa, como consecuencia de las preocupaciones ambientales.

2. La actividad minera y su contribución en América Latina

Tras la denominada “década perdida” de los ochenta, cuando la inversión en exploración fue muy pequeña en América Latina, los noventa significaron la llegada de grandes capitales con ese fin. Se estima que al terminar los ochenta el monto para exploración en la región no llegaba a los US\$100 millones, menos del 10% de la inversión mundial en esta materia; en 1993 la cifra aumentó a US\$330 millones y el punto más alto estuvo en 1997 con US\$4.574 millones, el 28% del total mundial. De 1998 en adelante, la cifra ha disminuido, llegando a US\$2.000 millones en 2001, la más baja desde 1994; las razones fueron el descenso sostenido de los precios de los metales, la desaceleración de la economía mundial del 2000, y la disminución de las inversiones en exploración por parte de las empresas mineras jóvenes debido a su dificultad para obtener financiamiento.

Empero, desde 1994 América Latina se ha constituido en el destino más importante de las inversiones de exploración minera en el mundo. La actividad aurífera y de metales básicos se concentra en cinco países: Argentina, Brasil, Chile, México y Perú. En 1997 estos representaron el 80% del total de inversiones en exploración, porcentaje que subió al 90% en 2001.

Si se analiza el consumo regional, se pone en evidencia la condición exportadora neta de nuestros países. En 1999, en relación con el cobre, América Latina usaba aproximadamente 7,5% del total mundial; un

año antes producía el 48% y tenía cerca de 37% de las reservas probadas del mundo. En el caso del aluminio, consumía 5% del total mundial en 1999, mientras que producía 32% de la bauxita y tenía 22% de las reservas del planeta. En cuanto al hierro, para el mismo año, consumía el 4,9% del acero mundial mientras producía el 22% del hierro de mina y tenía 4,4% de las reservas.

En países como Chile, Bolivia, y Perú, la minería constituye un pilar fundamental de las economías. Brasil por su parte tiene una minería metálica muy desarrollada y de grandes dimensiones, pero su peso económico en relación con el total de la actividad económica del país es considerablemente inferior al de los tres países mencionados. En Colombia el sector minero tiene diferentes grados de desarrollo y de contribución al PIB nacional, el cual está cercano al 4%, mientras que la contribución en el total de las exportaciones supera el 10% con una importancia significativa del carbón y de algunas piedras preciosas. Y finalmente está Ecuador, donde la minería metálica es pequeña y constituye una actividad económica prácticamente marginal.

El desarrollo de la minería en cada uno de estos países no es otra cosa que el reflejo de una serie de factores que van desde lo físico (potencial geológico), hasta los planos político e institucional, pasando por aspectos tecnológicos, económicos y sociales. Estos factores deben confluir para que las empresas mineras tengan incentivos para desarrollar exploración de

minerales y llevar a cabo su explotación, transformación y utilización.

En la década de los noventa, muchos países de América Latina y el Caribe llevaron a cabo reformas económicas con el objetivo de promover la competitividad y otorgaron incentivos a la inversión extranjera. Chile, Perú, México y Argentina están entre los países que han emprendido reformas muy completas de su legislación minera y han logrado resultados impresionantes desde el punto de vista del aumento de la producción, debido a la presencia de ventajas competitivas tales como los recursos geológicos, la mano de obra relativamente hábil y aún barata, y su propia historia de tradición minera.

a. Producto interno bruto minero

El Gráfico 2 muestra el PIB minero como porcentaje del PIB nacional en el periodo 1960-1999 para un grupo seleccionado de países de América Latina, y permite apreciar que en Chile la participación minera se ha mantenido superior al 10% del PIB nacional; en Perú y Bolivia alrededor del 5% y en Colombia, Argentina y México no alcanza esa cifra. En Brasil, la producción de minerales era aproximadamente 0,8% del PIB nacional en 1998, mientras que el petróleo y el gas natural representaban otro tanto. Las cifras de Ecuador incluyen minas, cantera y petróleo; sin estos dos últimos renglones, el aporte minero es uno de los menores al PIB nacional en América del Sur, con solo 0,55%.

GRAFICO 2



Fuente: IIED, 2002.

Por su parte, Venezuela y Bolivia experimentaron la mayor reducción relativa del PIB minero entre 1960 y 1999, el primero debido a la declinación de la producción de petróleo y el segundo fundamentalmente por el colapso del mercado del estaño en 1986. Chile y Perú redujeron levemente su PIB minero en este periodo, y en el caso de Chile, al menos, ello se debió no a una menor producción minera sino a la fuerte diversificación de la economía. En Argentina, Colombia y México, el PIB minero mantuvo su proporción del PIB nacional, mientras que mayores crecimientos los experimentaron Ecuador y Brasil, el primero debido al petróleo y el segundo por la mayor producción de minerales.

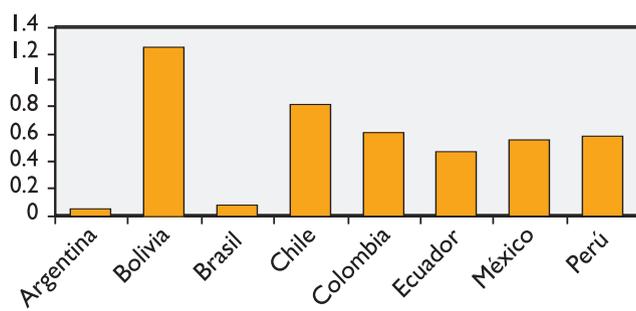
b. Empleo

El Gráfico 3 muestra el empleo en minería como porcentaje de la fuerza laboral del país para la misma selección de países. Entre 1997 y 1999 (con excepción de México cuya cifra corresponde a 1995), el empleo como proporción de la fuerza laboral varía desde 0,06% en Argentina hasta 1,3% en Bolivia. En promedio, por cada millón de dólares invertido en las grandes empresas mineras, se crea un poco más de 3 empleos directos y 7,2 indirectos.

Aunque es posible que estas estimaciones sean algo conservadoras, la alta productividad requerida para que las grandes inversiones mineras se lleven adelante, hacen prever que si bien esta contribución puede ser algo mayor, tienda a situarse alrededor de estas cifras en unos pocos años

GRAFICO 3

EMPLEO EN MINERÍA COMO PORCENTAJE DE LA FUERZA LABORAL Y NÚMERO DE PERSONAS EMPLEADAS POR PAÍS (EN MILES)



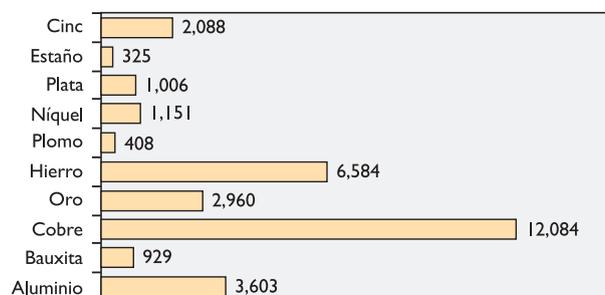
Fuente: IIED, 2002.

c. Producción

El Gráfico 4 muestra el valor de la producción total de la región por minerales y metales en 1997, que fue un poco más de US\$31.000 millones, lo que representó 21% del valor de la producción mundial. En estas cifras se supone que la mitad de los concentrados de cobre, níquel, plomo, cinc y estaño se fundieron y refinaron fuera de la región.

GRAFICO 4

VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE ALGUNOS MINERALES EN LATINOAMÉRICA (MILLONES DE DÓLARES)



Fuente: IIED, 2002

Los principales metales y minerales producidos en la región en 1997 fueron: aluminio, bauxita, cobre, oro, hierro, plomo, níquel, plata, estaño y cinc. Los países más destacados en la producción mundial de minerales y metales ese año fueron: Argentina, tercer productor mundial de boro; Bolivia, quinto productor de estaño; Brasil, primero en hierro de mina y niobio, segundo en tantalio, cuarto en asbestos, bauxita y estaño, quinto en aluminio primario, sexto en manganeso y décimo en níquel; Chile, primer productor de cobre, litio y yodo, tercero de molibdeno y séptimo de plata; Colombia figuraba entre los 10 primeros exportadores de carbón en el mundo y entre los primeros 5 de carbón térmico; Cuba y República Dominicana, sexto y séptimo productores de níquel, respectivamente; Jamaica y Venezuela eran tercero y séptimo, respectivamente, en producción de bauxita; México era primer productor de estroncio y plata, quinto de plomo, sexto de cadmio y cinc y octavo de cobre y manganeso; Perú era tercer productor de estaño y plata, cuarto de cinc y plomo, sexto de cobre y noveno de oro y debería estar entre los tres o cuatro principales productores de cobre del mundo en el presente decenio.

En cuanto a la tendencia, Latinoamérica experimentó entre 1990 y 1997 un gran auge minero, el cual llevó a que la participación de la región en la producción mundial creciera de 26 a 48% en cobre, de 35 a 42% en plata, de 24 a 32% en bauxita, de 17 a 21% en cinc, de 13 a 16% en níquel y de 9 a 12% en oro. En otros materiales, tales como aluminio, petróleo, hierro, cemento, acero y carbón, la región mantuvo su aporte a la producción mundial.

d. Exportaciones

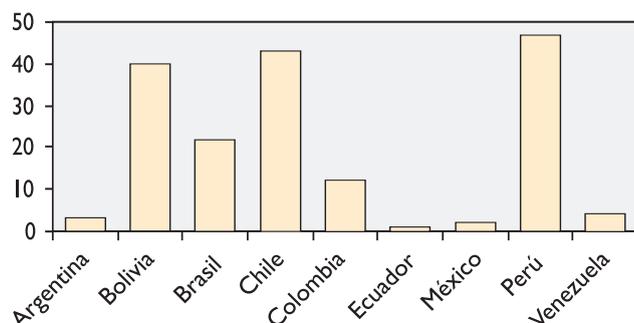
En 1998, el valor de las exportaciones totales de Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela cayó con respecto a las del año anterior, debido a la crisis económica que afectó al sudeste asiático y al efecto consiguiente en los precios de los minerales y metales. Argentina mantuvo el mismo nivel de exportaciones que en 1997. La excepción entre las grandes economías de la región fue México, país que incrementó sus exportaciones en 6,3%, debido a que la mayor parte de su comercio se realiza con Estados Unidos y sus exportaciones son mayoritariamente productos manufacturados.

Tal como lo indica el Gráfico 5, en 1999 los países más dependientes de la producción de minerales desde la perspectiva de sus exportaciones, excluyendo el carbón y otros combustibles fósiles, eran Chile, Perú y Bolivia, todos con una importancia superior al 25%.

En Bolivia, respecto a las exportaciones totales del país en 1988, las de minerales cayeron manifiestamente a 26,3%; los tres años anteriores estuvieron

GRAFICO 5

VALOR DE LAS EXPORTACIONES MINERAS Y COMO PORCENTAJE DE LAS EXPORTACIONES TOTALES POR PAÍS EN 1999 (MILES DE MILLONES DE DÓLARES)



Fuente: IIED, 2002.

cerca del 34%. En un segundo grupo, entre 5 y 10%, se ubicaba Brasil, mientras que en Argentina, México y Venezuela las exportaciones mineras representan entre 1 y 5% del total. En Ecuador, estas son importantes y han aumentado últimamente. En Colombia las exportaciones de carbón y oro se han incrementado en los últimos años. En Argentina, en 1999 cerca de 23% correspondieron a materiales metálicos, 28% a no metálicos y el resto a materiales de construcción.

e. Aspectos ambientales

En cuanto al impacto ambiental generado por la minería hay que tomar en consideración dos aspectos. Por un lado, la extracción de estos recursos agota un activo de capital, por lo cual el Estado y la sociedad deberán ser muy conscientes de la necesidad de evitar la disminución de posibilidades de desarrollo a generaciones futuras, mediante la generación de otro tipo de capital, por ejemplo conocimiento; esto es mediante la realización de lo que se conoce como un "ahorro genuino". Por otro, a lo largo de todas las actividades de la cadena minera se genera un impacto negativo para el medio ambiente, que puede ser evitado o mitigado mediante la aplicación de tecnologías y procedimientos adecuados o más limpios.

El impacto, la tecnología y los procedimientos que se deben utilizar dependen del tipo de minería. En Latinoamérica, por ejemplo, Brasil produce una diversidad de minerales que se encuentran distribuidos desde regiones con clima tropical hasta climas secos, aunque no desérticos. Muchos de los yacimientos mineros están ubicados cerca de zonas pobladas y agrícolas, de ahí que el impacto generado y sus efectos abarcan una amplia gama y exigen una diversidad de acciones y procedimientos de control o mitigación.

En el extremo opuesto se sitúa Chile, donde una fracción importante de las grandes minas está ubicada en zonas desérticas o semidesérticas, con escasa pluviosidad y alejadas de áreas pobladas. El manejo de efluentes líquidos y sólidos puede ser más simple y de menor costo. Una de las preocupaciones principales es minimizar el consumo de agua, debido a su escasez.

Bolivia, Ecuador y Perú tienen una importante fracción de sus minas en cuencas con alta pluviosidad y en zonas pobladas, de tal forma que los efectos de mayor importancia se relacionan con el manejo de efluentes líquidos y sólidos, el uso de suelos y la salud humana.

Estas distinciones son muy importantes para comprender el contexto, la magnitud y el alcance de los desafíos que la minería tiene para contribuir al desarrollo sostenible en nuestros países. En términos estrictamente económicos, el reto evidente es cómo asegurar el crecimiento de la actividad, tendiendo como fin la contribución de la minería al desarrollo sostenible de los países y regiones mineras, dados los diversos desafíos en los campos ambiental y social.

3. Perspectivas

América Latina es y seguirá siendo, en los años venideros, una región productora de minerales. Estimaciones realizadas por la Encuesta de Proyectos 2002 de Raw Materials Group (RGM) de Estocolmo y publicadas por la revista *Engineering and Mining*, muestran que para el periodo 2001-2007 la región ocupará el primer lugar en cuanto a inversiones proyectadas con 29% del total, seguida por África con 18% y Asia con 16%. Frente a la importante contribución de esta actividad a la economía de varios países de la región, es necesario contar con una visión integral del desarrollo sostenible que asegure que la minería contribuya también al mejoramiento de la calidad de vida y al equitativo progreso social y económico de sus regiones mineras.

La búsqueda de una mayor eficiencia y productividad podrá ocasionar que muchas compañías pequeñas desaparezcan por su limitado acceso a los mercados, y que las empresas con más experiencia traten de recortar los gastos; aunque hay casos en los cuales se podría esperar que algunas de las empresas grandes incrementen el presupuesto de exploración, tratando de mantener o lograr una mejor posición en el largo plazo.

No obstante las presiones de la competencia y los mercados y de las incertidumbres sobre los precios, las compañías mineras pueden ser optimistas acerca de lo que se espera en este nuevo milenio. Ciertamente, el mundo consume grandes cantidades de minerales (cobre y carbón por ejemplo) y con el aumento de la población, la demanda será creciente. Mejores precios y nuevos descubrimientos resultarán de la reactivación de la exploración, lo que atraerá nuevas inversiones. Alianzas estratégicas entre grandes compañías y empresas jóvenes especializadas serán comunes en el mediano plazo. También se podrán presentar adquisiciones de los desarrollos adelantados por estas

últimas por parte de otras experimentadas en lo que se conoce como “calentamiento de áreas”.

En materia tecnológica se podrá esperar que la minería avance hacia la incorporación de mayor conocimiento en todos los procesos, en particular hacia el uso de tecnología de punta en la exploración y explotación, el empleo de mano de obra calificada y la implementación de procedimientos y técnicas que reduzcan el impacto ambiental negativo. También se debe esperar una mayor incorporación de valor en las materias primas y mayores encadenamientos productivos en los países en vía de desarrollo.

B. EL SECTOR ENERGÉTICO

La energía constituye un componente esencial para el desarrollo de las sociedades y las economías. Las exigencias de mayor productividad y eficiencia económica para competir en un mundo globalizado y con esquemas de libre comercio; acuerdos y compromisos para reducir los problemas asociados con el cambio climático, la lluvia ácida y la contaminación; y preocupaciones por una mayor sostenibilidad del desarrollo de generaciones presentes y futuras, han generado aportes teóricos y tecnológicos que pueden modificar las trayectorias de evolución de los sistemas energéticos.

Los procesos de globalización y de liberalización de mercados deben conducir a una mayor eficiencia en el suministro y utilización de la energía, y al tiempo introducir un número de agentes participantes en la toma de decisiones con una mayor orientación de negocios, e incrementar las interconexiones e intercambios internacionales. Es de esperarse mejores precios o tarifas para el usuario final y una mayor productividad económica. La presencia de capitales privados, además de requerir condiciones estables que garanticen rentabilidad a las inversiones, debe ser controlada para evitar concentraciones que atenten contra la competencia.

Las diferentes medidas de regulación y control ambiental, tanto locales como globales, como el Protocolo de Kyoto, llevarán a una mayor penetración de nuevas fuentes y tecnologías, en particular fuentes de energía no fósiles y nuevas tecnologías de conversión. Algunas de estas opciones son tecnologías emergen-

tes, aún con un largo camino por recorrer para ser competitivas. La transición hacia esquemas más eficientes, limpios y flexibles, va a depender de los esfuerzos en investigación, desarrollo, demostración y difusión que se emprendan para lograr que fuentes, tecnologías y esquemas de uso puedan desplazarse a lo largo de sus curvas de aprendizaje y se obtengan reducciones importantes de precios que hagan competitivas estas nuevas opciones.

Estimativos de la Agencia Internacional de Energía (2004) muestran que el suministro de energía a escala mundial deberá por lo menos duplicarse en el periodo 1990-2050 (con mayores requerimientos de los países en desarrollo), no obstante las mejoras en la intensidad energética (reducción del 20% en el 2020 y del 35% en el 2050). Los combustibles fósiles continuarán sufriendo una fracción apreciable del consumo energético, con una creciente importancia del gas natural, pero la oferta energética tenderá a ser más diversificada. Nuevas opciones como la energía solar, eólica, celdas de combustible y biomasa, van a tener un importante papel en el largo plazo y producirán cambios substanciales en el perfil tecnológico, ambiental y organizacional del sistema energético global. Los avances que se obtengan a escala tecnológica y de posibilidades comerciales van a ser de gran utilidad para las zonas aisladas y no interconectables de países en desarrollo.

Es importante anotar que aunque no se esperan cambios fundamentales en los patrones de suministro y consumo de energía en las próximas dos décadas, los nuevos desarrollos tecnológicos parecerían anticipar que en los próximos 50 años el sector energético pueda ser muy diferente al actual, pues se avanza hacia la implementación de sistemas más flexibles, para llegar a aquellos totalmente distribuidos. El cambio hacia sistemas energéticos más productivos y con menor impacto ambiental hará que el suministro sea probablemente más costoso, al menos en un principio, mientras las innovaciones y su difusión consigan reducciones importantes de precios para las tecnologías y fuentes limpias. El ahorro y la eficiencia energética pueden entonces convertirse en una opción interesante durante la transición (Barreto et al., 1998).

La sostenibilidad del desarrollo desde una perspectiva energética, contribuye, además de disminuir las presiones sobre la agotabilidad de los recursos, a facilitar el acceso de los sectores más necesitados a

formas comerciales de energía y en consecuencia a reducir la pobreza. Si las condiciones de educación (y de salud) mejoran en forma considerable en los países menos desarrollados, se puede esperar que haya un consumidor con mayor influencia sobre decisiones acerca del tipo de energético y tecnología que va a utilizar. Lo anterior como resultado de nuevas visiones del desarrollo que cuestionarán, muy posiblemente, los elevados niveles de consumo per cápita, que paradójicamente los avances tecnológicos, tendientes a una desmaterialización de la producción y mayor eficiencia en el consumo, han contribuido a generar.

I. El consumo y suministro de energía³

El consumo mundial de energía se ha incrementado progresivamente en los últimos cien años y continúa creciendo a una tasa cercana al 2% anual. La fuente de energía más importante a principios del siglo XX fue el carbón, que declinó para cederle el puesto al petróleo hacia los años cincuenta. Esta condición, según los analistas, continuará hasta mediados del siglo XXI. El gas natural ha empezado a perfilarse como el energético de transición entre los combustibles fósiles y las denominadas fuentes de energía nuevas y renovables (FENR).

El Gráfico 6 muestra la evolución de consumo de energía per cápita en algunos países o regiones para los años 1976, 1985, 1990 y 2000. El ancho de las barras hace referencia a la población, por lo que el área corresponde al consumo total de energía.

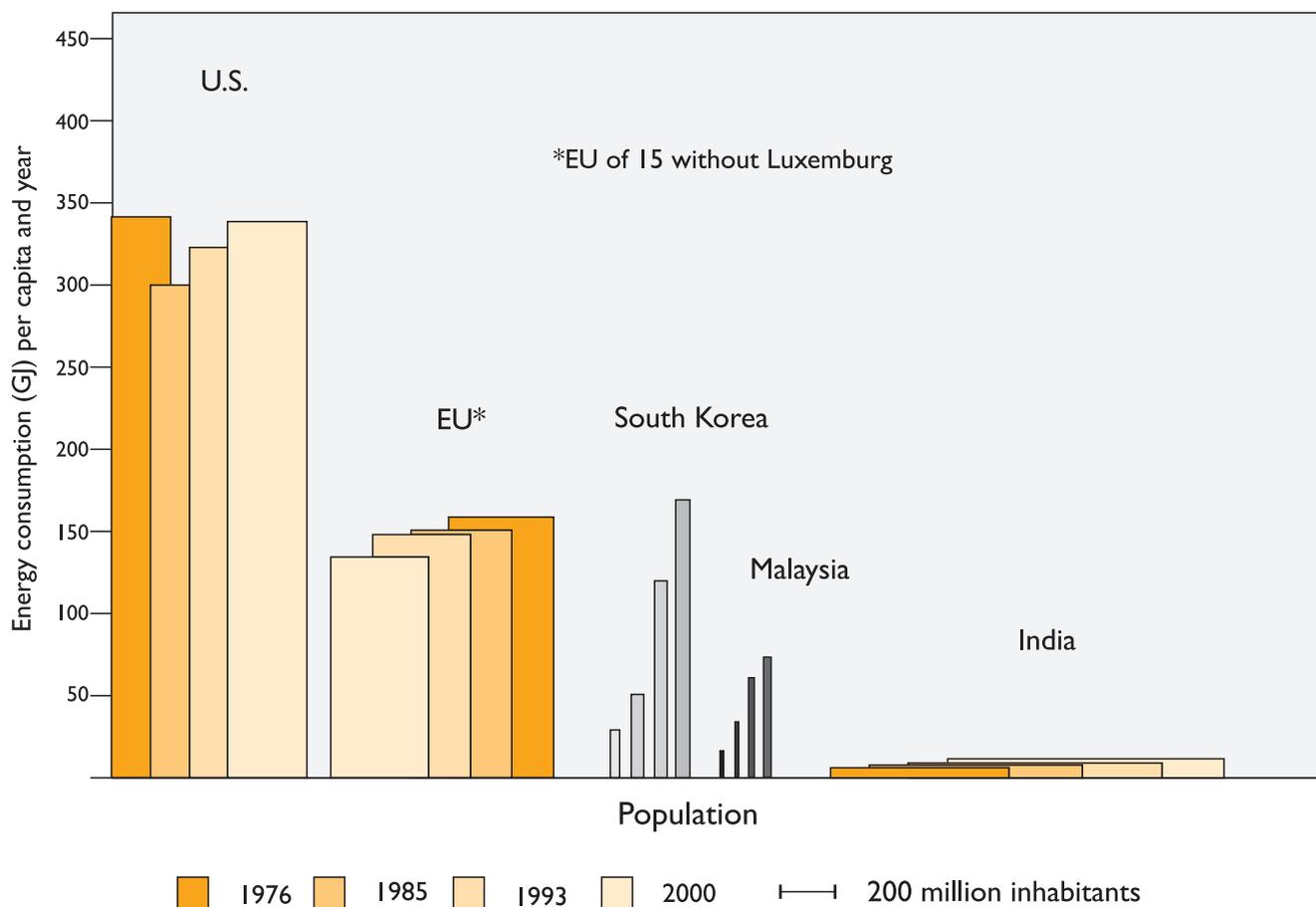
En este gráfico se pueden distinguir tres categorías o grupos de países:

- El mundo industrializado con alto consumo de energía per cápita pero pequeños incrementos en las tasas de crecimiento de la demanda y la población, como Estados Unidos y los países europeos.
- Países con una rápida integración con el mundo industrializado, crecimiento rápido en la demanda de energía per cápita y decrecimiento en la población, como Corea del Sur y Malasia.
- Países en etapas tempranas de desarrollo, lento crecimiento en la demanda de energía per cápita y un gran crecimiento poblacional, como India.

³ European Commission, 2003.

GRAFICO 6

CONSUMO DE ENERGÍA PER CÁPITA Y TOTAL EN PAÍSES INDUSTRIALIZADOS Y EN VÍA DE DESARROLLO



Fuente: Scientific and Technical Committee Euratom 'The energy challenge of the 21st century' 2003

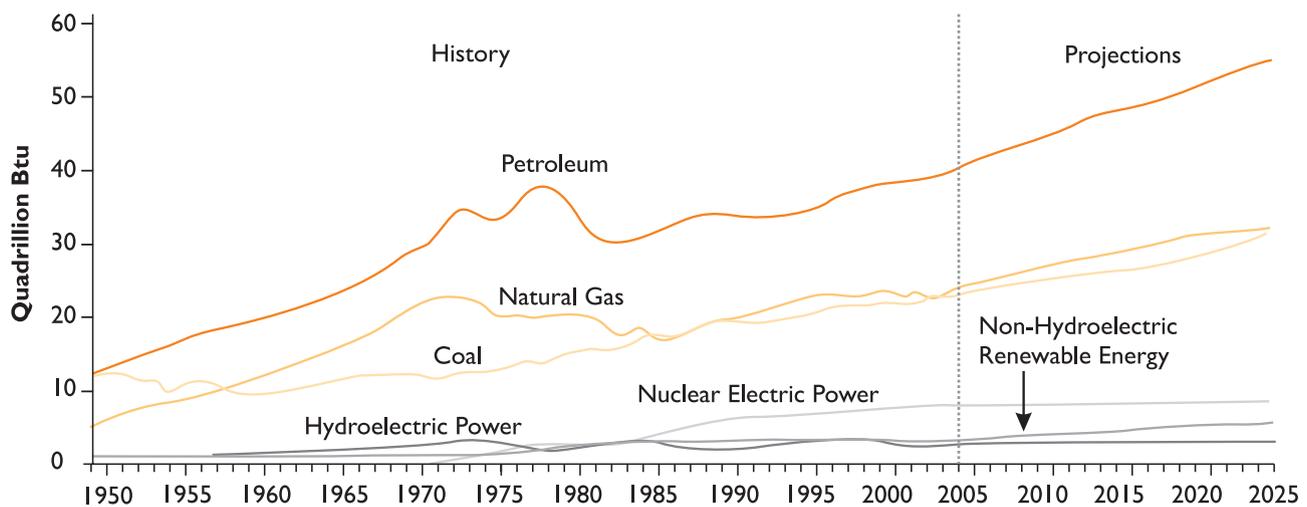
En relación con el suministro de energía, los combustibles fósiles constituyen las fuentes dominantes. El petróleo representa el 35% del total del suministro primario de energía y aunque su contribución ha venido en descenso, en parte por el incremento de la participación del gas natural, no se espera una reducción significativa antes del 2050. La participación del gas natural, como se dijo, ha venido en aumento y se espera que esta pase del 20 al 25% en el año 2020, para después declinar de acuerdo con las presiones ambientales. La participación del carbón se mantiene y se mantendrá alrededor del 25% pese a las restricciones ambientales, puesto que es el energético más abundante y mejor distribuido. En total, los combustibles fósiles aportan el 80% del suministro primario de energía. El 20% restante lo aportan la biomasa, otros renovables y desechos (10%), la nuclear (7%) y el agua (2%).

El Gráfico 7 muestra la participación histórica y las proyecciones de los energéticos a escala mundial.

2. Perspectivas de la demanda y la oferta de energía

La Comisión Europea llevó a cabo en 2003 el estudio denominado WETO (*World Energy Technology and Climate Policy Outlook-2030*), para identificar escenarios energéticos y de generación de energía eléctrica en los países europeos y otros países significativos, con el fin de precisar las implicaciones sobre el medio ambiente y las posibilidades de nuevos desarrollos tecnológicos. Este estudio describe un escenario de referencia en el cual si no se diseñan políticas y se toman medidas de control, las emisiones de CO₂ se doblarán en el 2030 y los combustibles fósiles conti-

HISTORIA Y PERSPECTIVAS DEL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA



Fuente: EIA, Panorama energético anual, 2004.

nuarán suministrando el mayor porcentaje de la demanda mundial de energía.

La proyección del requerimiento energético global es cercano al 1,8% anual para el periodo comprendido entre el 2000 y 2030. El impacto del crecimiento económico y de la población (3,1 y 1% por año en promedio respectivamente), es moderado por un decrecimiento en la intensidad energética del 1,2% por año, debido a los efectos combinados de los cambios estructurales en la economía, el progreso tecnológico y el incremento en los precios de la energía. La experiencia muestra que los países industrializados han retrasado el crecimiento de su demanda a un nivel de 0,4% por año, mientras en los que están en vía de desarrollo crece rápidamente. Hacia el 2030 más de la mitad de la demanda mundial provendrá de los países en desarrollo, comparado con el 40% de hoy.

Como se mencionó, en 2030 el sistema energético mundial continuará dominado por los combustibles fósiles con casi 80% del suministro total de energía; el petróleo se mantendrá como la principal fuente y su producción mundial se incrementará cerca del 65% hasta alcanzar casi los 120 millones de barriles por día en el año 2030. Para ese año la mayor proporción de esta cifra provendrá de los países de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) con cerca del 60% del suministro mundial, comparado con el 40% en el año 2000. Existen suficientes reservas de petróleo para satisfacer la demanda proyectada du-

rante las siguientes tres décadas, sin embargo, el declive en las reservas convencionales de petróleo puede constituirse en una señal de preocupación más allá del 2030. Esto será parcialmente compensado con el incremento de reservas no convencionales de petróleo.

El segundo combustible será el carbón. Es probable que la producción se duplique durante el periodo 2000-2030, con un mayor crecimiento en Asia y África. Dos terceras partes del incremento en el consumo de carbón entre 2000 y 2030 provendrán de Asia. En cuanto a las reservas, no se espera una gran variación en relación con las que se conocen actualmente.

El gas natural seguirá su etapa de crecimiento y es probable que en 2050, haya desplazado al carbón, convirtiéndose en el energético de transición hacia las energías limpias. La producción de gas se duplicará entre el 2000 y el 2030, sin embargo, es factible que para este último año la disparidad regional en reservas y costos de producción lleven a una modificación de los patrones de suministro. En la Unión Europea, se espera que a mediano plazo el gas natural sea la segunda fuente más grande de energía después del petróleo y antes que el carbón. Es importante señalar que Europa dependerá del gas proveniente de la Comunidad de Países Independientes (CIS), entre los cuales está Rusia. Se prevé que las reservas de gas natural aumenten cerca del 10% durante el periodo 2000-2030.

Respecto a la electricidad, esta continuará su penetración en todas las regiones, contando con casi un cuarto de la energía final demandada. La producción aumentará constantemente a una tasa promedio anual de 3%, y en 2030 más de la mitad de la producción provendrá de tecnologías que emergieron en los noventa, no obstante la aparición de tecnologías avanzadas de tratamiento de carbón y energías renovables.

La participación del gas en la generación de electricidad crece de la misma manera en las tres mayores regiones de producción (CIS, Medio Oriente y América Latina) mientras que la del carbón decrece en todas las regiones excepto en Norteamérica y en Asia donde su aumento es significativo. El desarrollo de la energía nuclear no tiene relación con la producción total de electricidad, su participación en este mercado será del 10% en 2030. Para ese año, las energías renovables tendrán el 4% de la producción de electricidad, el doble del aporte actual, principalmente por el acelerado progreso en la producción de electricidad a partir del viento.

La energía nuclear y las energías renovables juntas pueden representar un poco menos del 20% del suministro de energía en la Unión Europea.

Con estas perspectivas, se puede esperar que las emisiones de CO₂ en el mundo crezcan a una tasa más alta que la del consumo de energía (2,1% promedio anual). Al comparar las emisiones de CO₂ de 1990 con las que se esperan en 2030, se tiene que estas serán más del doble; en la Unión Europea se incrementarán 18% y en Estados Unidos rondarán el 50%. Los ahora países industrializados son responsables de un alto porcentaje de las emisiones de CO₂ en el mundo y hacia el año 2030 lo serán responsables en algo más del 50%.

Se espera que el destino final de esta oferta energética no varíe sustancialmente. Cerca del 35% de la demanda provendrá de la industria, 25% del transporte y 40% de las viviendas y otros sectores terciarios. La demanda energética por sectores muestra diferentes patrones de acuerdo con las regiones. En los países desarrollados, la demanda de energía en los sectores de servicio presenta el crecimiento más rápido, mientras que en los países en vía de desarrollo, todos experimentan crecimientos similares y sostenidos de entre el 2 y el 3% anual.

Si bien no se esperan cambios fundamentales en los patrones de suministro y consumo de energía en las próximas dos décadas, el desarrollo tecnológico en curso, producto de las preocupaciones ambientales y de las presiones por mayores logros en eficiencia, parecerían anticipar que después del 2050 el sector energético pueda ser muy diferente del actual. Se avanzará hacia sistemas energéticos más productivos y con menor impacto ambiental, las intensidades energéticas mantendrán o acentuarán su reducción y los consumos per cápita comenzarán a decrecer.

3. Sensibilidad a cambios de fuentes y desarrollos tecnológicos

Si la disponibilidad de reservas de hidrocarburos es limitada, los precios del gas y el petróleo serán mucho mayores que en la actualidad. El barril de petróleo se situará alrededor de los US\$50, lo que inducirá una baja en la demanda de energía mundial del 3%, y propiciará una penetración temporal del carbón y más definitiva de las energías renovables. La demanda de gas natural se reduciría en 13% y la del petróleo en 6%. Como resultado, las emisiones mundiales de CO₂ serían 2% más bajas que las actuales.

Un aumento significativo de los recursos gasíferos podría acarrear una reducción de los precios de este energético y de los del petróleo aunque en mucha menor proporción a causa del limitado potencial de sustitución entre petróleo y gas. Aunque la demanda mundial de energía no se ve muy afectada, la canasta de los diferentes energéticos si se modificaría en favor del gas natural (21%) y en detrimento del carbón (-9%), del petróleo (-3%) y de la electricidad (-4%).

El acelerado desarrollo en tecnologías para generación de electricidad traería también cambios significativos en la estructura de producción de electricidad. La posibilidad de tecnologías avanzadas, puede tener un impacto considerable en el costo para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones.

4. El uso de la energía y su impacto en el medio ambiente

Como se ha señalado, el sistema energético depende básicamente de los combustibles fósiles, lo que causa un impacto negativo importante sobre el ambiente. El Tercer Reporte del *Intergovernmental Panel*

on *Climate Change (IPCC)* indica que en el siglo XX se observó un considerable y sorprendente incremento en la temperatura global (*IPCC, 2000*), atribuible principalmente a las emisiones de CO₂. El reporte señala que si no se empieza a introducir fuentes y tecnologías más limpias y no se toman medidas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mejorar prácticas de utilización de la energía, se puede esperar un incremento substancial de dióxido de carbono en la atmósfera para el siglo XXI.

En muchos países industrializados se ha puesto en práctica programas que pretenden reducir la cantidad de consumo de combustibles fósiles, promoviendo la penetración de nuevas fuentes, las mejoras en eficiencia energética y la conservación de energía.

Por ejemplo, la simple sustitución de carbón o petróleo por gas natural, contribuiría ciertamente a la reducción en las emisiones de CO₂, aunque el incremento de esta tendencia podría reducir las reservas de gas. Las tecnologías de energía renovable como hidráulica, solar, eólica, biomasa o geotermia, aunque no con los mismos grados de desarrollo, están en posibilidades de ser utilizadas en muchos países. Sin embargo, muchas de estas opciones, al igual que otras relativas a mejoras en eficiencia y conservación de la energía, deben aún recorrer algunas etapas para que su uso masivo sea viable.

No sobra señalar que no es muy real asumir que estas opciones solas pueden abastecer la demanda de energía en el mundo y reducir la dependencia a los combustibles fósiles. Por esta razón, actividades encaminadas a reducir el impacto ambiental negativo asociado con la utilización del petróleo, el carbón y la energía nuclear, son financiadas y desarrolladas por los países industrializados en forma complementaria.

5. Los agentes participantes en el sector

Los recientes procesos de reforma de las economías han sido motivados, en parte, por el fracaso de los esquemas totalmente públicos en la provisión, gestión y supervisión de los servicios, y por la aparición de novedosas teorías económicas que sugieren la posibilidad de introducir al sector privado como inversionista y operador y concentrar al Estado como formulador de políticas y vigilante del proceso de provisión en cuanto a precios, calidad y cobertura. En

los servicios públicos, lo anterior aunado al cambio tecnológico que limitó el peso de las economías de escala (la motivación central para efectuar una provisión pública en las décadas anteriores) ha llevado a una nueva organización de la industria y a reformas regulatorias con la finalidad de ofrecer mejores opciones a los usuarios, esto es, precios que reflejen costos eficientes con el cumplimiento de estándares de calidad y niveles adecuados de cobertura.

Una década después de ensayado por primera vez este esquema de organización y regulación, los resultados son mixtos. Cuando el cambio tecnológico es alto y la demanda represada es alta, como en el caso de la telefonía celular, los progresos son visibles. Cuando predomina la política redistributiva, como en la electricidad y el agua, los progresos son importantes en cuanto a atracción de inversión, pero dudosos desde el punto de vista de la viabilidad financiera de las empresas y este problema es más notorio en los sectores de electricidad y agua y el eslabón en donde las reformas pueden revertir. Las entidades encargadas de impulsar las reformas hacia adelante son débiles técnicamente, están sometidas a la perpetua presión de grupos de interés, y no necesariamente cuentan con el apoyo efectivo de entidades como las Cortes y las autoridades de defensa de la competencia.

6. Los acuerdos e interconexiones internacionales

A medida que se van profundizando las reformas de la economía y de los sectores de servicios públicos, se observa que la apertura de mercados da lugar a una considerable expansión de las oportunidades de negocios para los agentes privados en la construcción de infraestructura para las interconexiones energéticas.

Respecto a la integración energética regional, se han registrado importantes avances en la última década. En el Mercosur ampliado, se comienzan a visualizar los resultados de los pasos dados en la búsqueda de complementariedades eléctricas, gasíferas y petroleras. Se destacan los gasoductos entre Bolivia y Brasil y las interconexiones de Argentina con Chile por varios pasos fronterizos, el oleoducto transcordillerano, la interconexión eléctrica en el norte, las interconexiones de gas natural con Uruguay y Brasil y los intercambios de petróleo y derivados entre los países de la región.

Centroamérica acordó reglas para una operación eléctrica integrada, con perspectivas de incorporar el gas natural desde sus extremos. El proyecto SIEPAC (Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central), los gasoductos desde México y Colombia y el transporte de gas natural licuado desde Trinidad y Tobago, ofrecen alternativas de suministro antes no consideradas. En el Caribe, existe una inquietud creciente por encontrar nuevos sustitutos energéticos basados en el gas natural, que se sumarían y eventualmente sustituirían consumos de gas licuado de petróleo. Se ha avanzado con estudios para interconectar con un gasoducto el oriente venezolano con Miami a través de las Antillas.

El CARICOM (Mercado Común del Caribe) se ha preocupado por favorecer el mercado de energéticos como el petróleo y el gas, aprovechando la infraestructura existente en países como Trinidad y Tobago, que se puede utilizar para potenciar la utilización de los recursos de países como Venezuela. Está también la construcción del gasoducto del Caribe oriental que posibilitará el mercado para países como Jamaica, República Dominicana, Cuba y el norte y noreste de Brasil.

La Comunidad Andina evidencia signos de aprovechamiento futuro de sus abundantes reservas de gas, lo que le permitiría neutralizar la volatilidad de los precios del petróleo en el mercado internacional. Se destaca la expansión masiva del uso del gas en Colombia y la nueva política de diversificación de Venezuela, así como las posibles interconexiones entre ambos países con proyección hacia Centroamérica y Ecuador. En electricidad son importantes las interconexiones de Venezuela primero con Colombia y luego con Brasil.

Finalmente, se destaca el apoyo de Venezuela y México a Centroamérica mediante los acuerdos de San José y de Cooperación Energética de Caracas.

En general, el proceso de integración en América Latina lleva cerca de 30 años, desde que se inició con la construcción del primer gasoducto. Se han creado ciertas subregiones que responden al nivel de avance en que se encuentran dentro del proceso de integración. Una de estas es el Cono Sur compuesta por Brasil, Chile, Argentina y Bolivia, donde el principal avance se ha dado en desarrollo de infraestructura gasífera. Otra subregión es la Andina, integrada por Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia. En ella los recursos energéticos existentes pueden abastecer completamente la demanda de cada país por lo cual es viable la posibilidad de exportación hacia Norteamérica o Centroamérica. En este sentido, Colombia por su ubicación estratégica podría desempeñar un papel muy importante en la intercomunicación entre las regiones continentales.

La integración energética en América Latina, es un proyecto que se está empezando a desarrollar y para el cual existen ciertas ventajas dadas las condiciones políticas, económicas, sociales y de recursos que presenta la región. Las inversiones extranjeras y nacionales están tomando parte de los proyectos de infraestructura de transporte de energéticos como el gas natural, el petróleo y la electricidad potenciando los mercados dentro y fuera de la región.

La Comisión de Integración Energética Regional (CIER) ha demostrado, mediante simulación de modelos de sistemas aislados frente a los integrados, que las interconexiones entre países aumentan la productividad debido a la complementariedad existente en materia hidrológica y de estacionalidad de la demanda. El mayor beneficio de un sistema interconectado es la reducción de costos y la promoción de la optimización de los recursos de la zona. Sin embargo, aunque los propósitos de integración se están desarrollando, existen aún ciertas barreras que limitan un proceso acelerado.



CAPÍTULO II

APORTES Y TENDENCIAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MINERÍA Y ENERGÍA

APORTES Y TENDENCIAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN MINERÍA Y ENERGÍA

El conocimiento de la naturaleza y los instrumentos que desarrollan las diferentes sociedades, dan la identidad tecnológica a sus diversos proyectos políticos. Los instrumentos y las tecnologías diferencian los niveles de solución que éstas pueden plantear a sus problemáticas particulares. No todas las sociedades tienen las mismas necesidades, ni preguntas similares son respondidas en igual sentido. La interrelación con la naturaleza es de por sí un proyecto político, que organiza las disposiciones del trabajo y la reproducción de determinados saberes. El mundo actual está regido por la ubicación de aquellos recursos naturales de los que se puede obtener algún valor agregado y por el suministro de energía y materias primas. Esta condición suscita interrogantes sobre la sostenibilidad de la vida en el planeta.

Toda aplicación de ciencia y tecnología tiene consecuencias sobre la vida humana. A partir de respuestas particulares a necesidades concretas, el conocimiento pretende dar respuestas universales a propósitos de bienestar universal, pero esta universalidad no elimina la necesidad de respuestas particulares propias. Las tecnologías son respuestas desde el trabajo, con el contenido histórico de cada sociedad y responden a montos particulares de su propia historia. La universalización de la ciencia y la tecnología debe reconocer la particularidad de las identidades en diferentes sociedades, la potenciación de sus capacidades y sus diversas perspectivas de mundo y de utilización de los recursos de la naturaleza.

Esta sección revisa la temática que en materia minera y de energía se está tratando de resolver o en

la cual se están desarrollando actividades de ciencia y tecnología.

A. MINERÍA⁴

La industria minera es un negocio basado en agregarle valor económico a los recursos del subsuelo, mediante una serie de actividades que se inician con el proceso de extracción del material mineralizado, continúan con los de beneficio o transformación en un producto derivado y su comercialización. La tendencia moderna del negocio es a conformar conglomerados productivos que integran estas actividades con las de soporte, entre las que se destacan las de suministros de equipo, provisión de insumos, servicios de ingeniería, centros de capacitación y servicios de transporte y mercadeo, entre otras (UPME, 2005).

El Estado al ser el responsable de la administración de los recursos naturales de un país, debe implementar estrategias públicas que articulen de manera integral la gestión de estos con el desarrollo de los diferentes sectores productivos, teniendo en cuenta los potenciales y las limitaciones del capital natural, social, institucional y humano de la nación.

Un elemento indispensable en minería es la información disponible sobre los recursos. Se requiere contar con procesos de sistematización de la información de línea base geológica, biofísica y social y de ordenamiento territorial, y con una adecuada utilización

⁴ Ver HEFFERNAN, 1998.

de herramientas de evaluación, seguimiento, control y contabilidad ambiental y social de los grandes desarrollos mineros.

Una visión innovadora del desarrollo, debe involucrar activamente a la sociedad civil en los proyectos que están relacionados directamente con la explotación y utilización de este capital común. Innovaciones institucionales como la planeación local participativa, las fundaciones para el desarrollo local, mecanismos de redistribución de las rentas mineras, sistemas participativos de seguimiento y evaluación de proyectos, incentivos de tipo científico y tecnológico que lleven a la generación de ahorro genuino, entre otros, serán tan o más importantes para la competitividad de un proyecto minero, y de un país, como el acceso a fuentes eficientes de energía o a tecnologías de producción más limpia.

La globalización y el incremento de los costos de desarrollo modificarán la industria minera en forma considerable. Las nuevas tecnologías de procesamiento de datos y de exploración continuarán modernizando las metodologías e irán refinando la definición de lugares objetivo. Lo mismo ocurre en la exploración donde cada vez más se facilitará el hallazgo y extracción de depósitos minerales, y en el procesamiento que disminuirá los costos para procesos largos y permitirá la producción de diferentes minerales en forma responsable con el medio ambiente.

1. Técnicas de exploración

Existe una fuerte conexión entre la geología y la ubicación de los depósitos minerales. El conocimiento geológico es esencial en cada estado de la exploración. Fotografías aéreas o satelitales y mapas determinan el progreso de los programas de exploración. Las imágenes satelitales en principio pueden delinear patrones de alteración comúnmente asociados con depósitos minerales. En los mapas a gran escala es posible ubicar estructuras geológicas, como fallas y contactos geológicos, que pueden estar asociados y de alguna manera interferir con la economía de la actividad minera. Mapas más detallados permiten determinar el contorno tridimensional de la secuencia de rocas y estructuras en una escala local, y tomar muestras para un examen detallado. En el laboratorio, estas muestras pueden proveer importantes pistas de la génesis del mineral y determinar el modelo de exploración más apropiado.

El extenso uso de la geofísica para la exploración mineral se ha desarrollado a partir de los años cincuenta, gracias al avance en la electrónica y la instrumentación. Las diferencias de las propiedades físicas de las rocas (ej. densidad, resistividad eléctrica o magnetismo) permiten detectar anomalías en la formación de las rocas enterradas. El hallazgo de depósitos de cobre a lo largo de la costa occidental de Canadá, por ejemplo, es atribuido a la introducción de una técnica de polarización inducida que puede detectar minerales metálicos que son diseminados a través de las rocas, concentrándolos masivamente. Las herramientas geofísicas tienen importancia en el allanamiento de bajos depósitos los cuales están cubiertos por grandes superficies de vegetación. Existe consenso en la industria minera que la geofísica desempeña un papel vital en la búsqueda y ubicación de esos depósitos profundos bajo tierra.

2. Innovación tecnológica

Mientras la innovación tecnológica de los noventa iba de la mano con los descubrimientos de la década, el impacto de los recientes progresos como la manipulación de datos, geofísica, comunicaciones remotas y el muestreo preciso han determinado un significativo avance para el funcionamiento de los sistemas de explotación, lo cual permite reducir los costos e incrementar la eficiencia de exploración, aspecto significativo en los escenarios de exploración más importantes y competitivos. Particularmente, en el campo de manejo de datos, las innovaciones de los pasados quince años, han mejorado la habilidad de los geólogos para seleccionar áreas con cierta perspectiva y determinar lugares donde se encuentran los depósitos minerales.

3. Manejo de datos

Las compañías de exploración minera generan gran cantidad de datos como resultado del mejoramiento en las metodologías de muestreo, la introducción de nuevas técnicas de exploración, y la digitalización de los datos de los procesos de exploración. La habilidad de integrar los datos, y presentarlos significativamente interrelacionados es uno de los retos más grandes de la industria en este tiempo.

Las bases de datos son creadas con el fin de dar un manejo apropiado a la información generada en las

exploraciones, pero con el paso del tiempo y el avance tecnológico es necesario que el procesamiento sea cada vez más rápido. Se han desarrollado tecnologías innovadoras que están siendo utilizadas cada vez más para la exploración: los Sistemas De Información Geográfica (GIS) y las redes neuronales, son herramientas poderosas para mejorar los sistemas de bases de datos y dar una mayor organización e integración a la información recogida en los procesos.

4. Detección alejada

La detección alejada, desarrollada a partir de la década de los ochenta, es el método más eficiente para anticipar regiones potenciales para la minería en áreas remotas las cuales hayan sido pobremente exploradas en el pasado. Las imágenes de detección alejada proveen la topografía de una región, infraestructura y características geomorfológicas, contornos geológicos, depresiones estructurales y significativas características geológicas. Con las nuevas tecnologías los procesos son cada vez más sofisticados y los exploradores mineros tienen mayor campo de acción, de aplicabilidad y reconocimiento de sus teorías.

5. Herramientas geofísicas

La geofísica es el estudio de las propiedades físicas de las rocas y los minerales. La exploración sísmica, desarrollada inicialmente en la industria petrolera, está ahora siendo probada como herramienta de mapeo subterráneo para la exploración de depósitos profundos. La habilidad de la reflexión sísmica para alcanzar grandes profundidades de más de 1.000 metros y producir información geofísica en tres dimensiones hace de esta técnica una candidata ideal para mayores investigaciones. Sin embargo, es posible que el costo de la exploración sísmica permanezca relativamente alto, con lo cual su uso estará dirigido a mediciones de profundidad en campos mineros, donde los geólogos ya hayan alcanzado un buen nivel de entendimiento de las características físicas de las rocas.

Los geofísicos han superado la mayoría de los retos asociados con la tecnología de aerotransporte. En los cincuenta, el desarrollo de métodos electromagnéticos de aerotransporte significó un incremento en la investigación de depósitos de minerales bajo tierra en Norteamérica. Luego, el desarrollo de las técnicas de polarización inducida para detectar la mineralización diseminada fue enfocado hacia la exploración de cier-

tos depósitos con diferentes tipos de metales como oro, cobre y molibdeno. Recientemente, el desarrollo del espectrómetro de rayos gamma para detectar los niveles de radiación emitidos por ciertos elementos ha sido bien aprovechado en el área de exploración para el estudio de elementos radioactivos como el uranio. Los alcances en este campo están cada vez más relacionados con el mejoramiento en la instrumentación y el procesamiento de datos.

La detección de anomalías mediante el uso métodos geofísicos es ampliamente difundida, dada la alta relación beneficio costo que presenta. Avances tanto en hardware como en software han aumentado el rango de aplicación de estos métodos. Ahora los sistemas de magnetómetro y los datos de tricomponentes magnéticos son las mejores pruebas para medir la polarización inducida, la resistividad, y la conductividad inductiva en varias frecuencias para un mineral. La sensibilidad y la confiabilidad de las pruebas, ha tomado un gran significado en el modelamiento de datos, la interpretación y la presentación.

6. Herramientas geoquímicas

La posibilidad de realizar análisis geoquímicos en los mismos campos agiliza la identificación de lugares para ser explorados. Personal de campo dotado con elementos manuales pueden medir la geoquímica del gas del suelo e identificar depósitos minerales. El espectrómetro portátil ofrece a los geólogos retroalimentación inmediata acerca de presencia relativa o abundante de algún tipo de alteración en los minerales. Una vez se obtiene un mapa de contornos de la distribución de los minerales, estos datos pueden ayudar a determinar su estructura.

B. ENERGÍA

En esta sección se presentará un panorama de las inversiones destinadas a investigación y desarrollo para los combustibles fósiles, energías renovables y eficiencia y ahorro de energía, elaborado sobre la base de un documento publicado por el *World Energy Council* (2001) y otro de la Unión Europea (*European Commission*, 2000)

Los presupuestos de inversión para actividades de investigación y desarrollo en materia energética se

redujeron en forma importante desde mediados de la década de los ochenta y hasta finales de los noventa. El mantenimiento de los precios del petróleo en niveles aceptables después de la crisis de los setenta, disminuyó la presión por buscar métodos más eficientes de utilización, transformación y producción, y por diversificar el suministro de energía. La participación de agentes privados en el “negocio” de la energía ha reforzado la tendencia decreciente de los porcentajes totales dedicados a investigación y desarrollo en los últimos años.

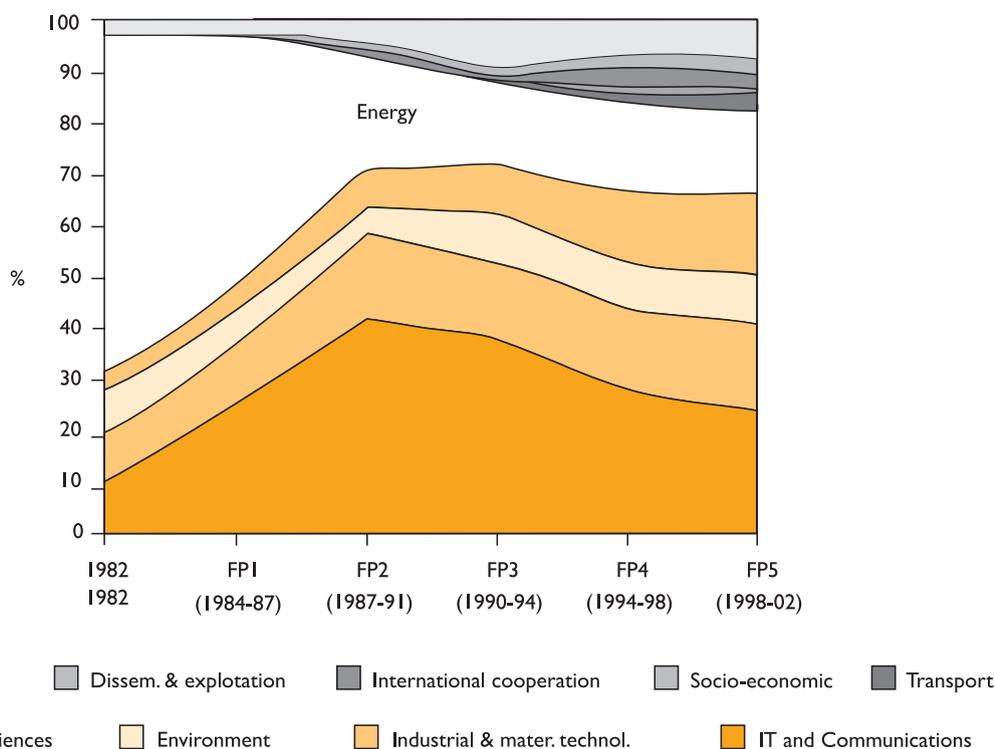
El Gráfico 8 muestra el cambio de los presupuestos destinados a estas actividades en la Comunidad Europea. Se puede observar cómo, a principios de la década de los ochenta, el sector energético capturaba más de 65% del total de los recursos destinados a investigación, mientras que a principios de los noventa este porcentaje se había reducido a casi el 20%. A principios de este siglo este porcentaje comenzó a incrementarse ligeramente.

Las preocupaciones por lograr un desarrollo sostenible de los recursos naturales y por disminuir el impacto negativo de la producción, transformación y utilización de la energía, han comenzado a cambiar esta tendencia y a movilizar recursos de investigación, desarrollo, demostración y difusión. Es ampliamente aceptado que el gasto en estas actividades es un “importante precursor de los avances tecnológicos requeridos para asegurar suministros de energía confiables y ambientalmente aceptables y para garantizar su uso eficiente” (OLADE, 1996).

El Gráfico 9 muestra las inversiones del sector público en energía en los Estados Unidos. Éstas tuvieron mayor declive en el tema de fisión y fusión nuclear, mientras que para los combustibles fósiles el decaimiento es menor y presenta un resurgimiento entre los años de 1990 y 1992. Las inversiones enfocadas hacia la conservación y la energía renovable fueron relativamente más fuertes en los noventa. En cuanto a los otros tipos de energía el monto destinado a este tema presentó un descenso menor.

GRAFICO 8

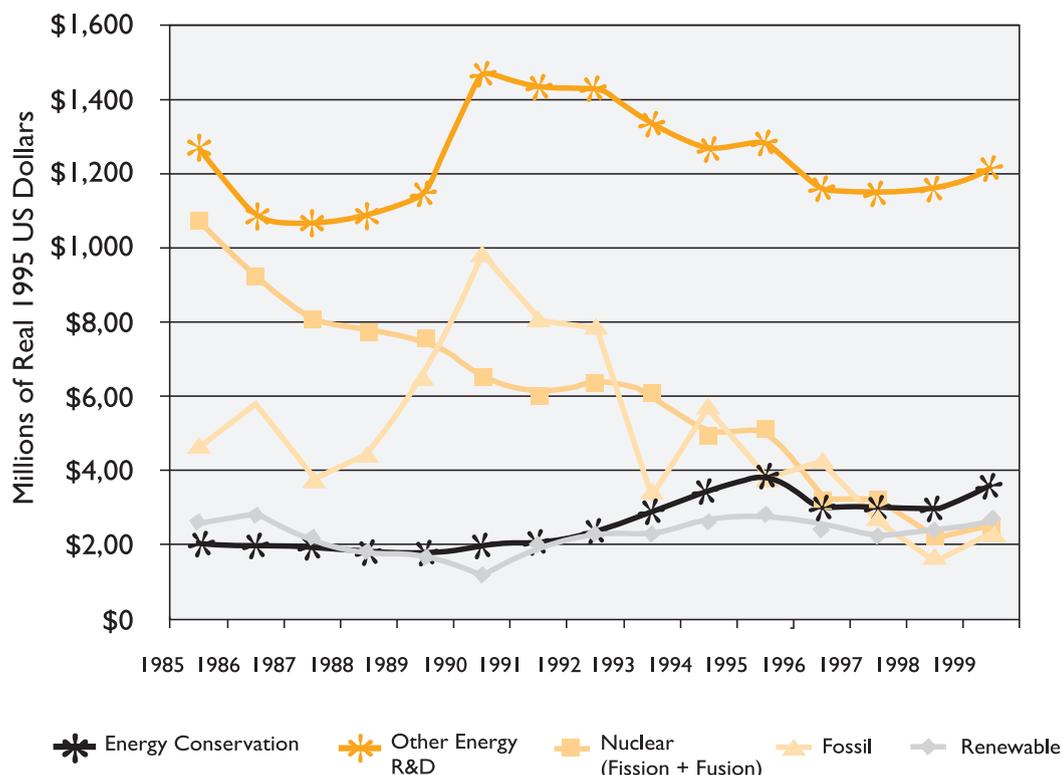
PRESUPUESTO PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LA UNIÓN EUROPEA



Fuente: WEC, Energy Technologies for the 21st Century, 2001

GRAFICO 9

INVERSIONES DEL SECTOR PÚBLICO DE LOS ESTADOS UNIDOS EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA LA ENERGÍA (MILLONES DÓLARES DE 1995)



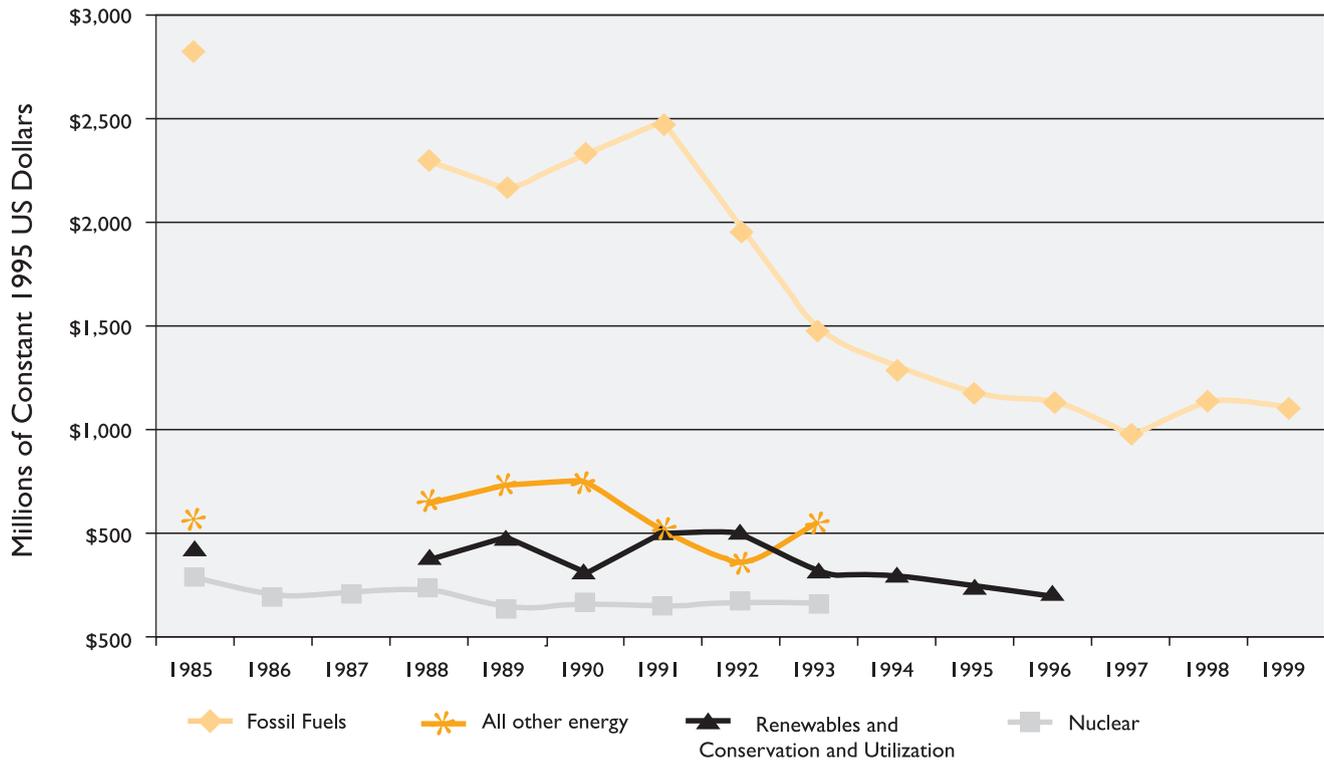
Fuente: European Commission

Es importante señalar que las actividades de investigación en materia nuclear han sido frenadas también por presiones de la sociedad. Los institutos y grupos de investigación alrededor del mundo han venido diversificando sus temas de investigación hacia energías más limpias y renovables y trabajando el tema nuclear con presupuestos cada vez más escasos. El compromiso de reducción de gases de efecto invernadero ofrece una nueva posibilidad de participación a esta fuente de suministro de electricidad y hacen prever un crecimiento moderado de las asignaciones a esta materia.

En el Gráfico 10 se presentan las inversiones del sector privado de los Estados Unidos en investigación y desarrollo por tipo de combustible, para el periodo comprendido entre los años de 1985 y 1999. Como puede observarse, los recursos destinados a investigación han seguido la tendencia decreciente de los montos públicos y no se ve clara la recuperación. Es de esperar que una vez asimiladas las reformas de los sectores de infraestructura, estos sigan la tendencia de recuperación que han comenzado a experimentar los fondos públicos.

GRAFICO 10

INVERSIONES ESTIMADAS DEL SECTOR PRIVADO EN LOS ESTADOS UNIDOS PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ENERGÍA, 1985-1999 (MILLONES DE DÓLARES CONSTANTES DE 1995)



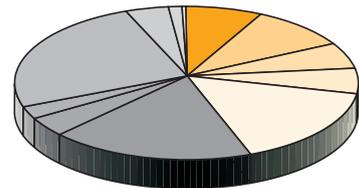
Fuente: European Commission

El desarrollo sostenible es una de las prioridades de la política energética de la Unión Europea, junto con la reducción en la dependencia de suministros externos y la integración de los mercados energéticos de las comunidades independientes. Uno de los retos más grandes en el tema de energía sostenible, es el compromiso europeo con la reducción de gases de efecto invernadero, lo que llevó a que las políticas de eficiencia energética encabezaran la lista de prioridades. Además, se ha puesto en marcha un gran número de programas dedicados a la promoción de estrategias de energía renovable, y a mantener la seguridad de los materiales nucleares.

El Gráfico 11 muestra el destino de las asignaciones presupuestales de recursos públicos en la Unión Europea en materia de investigación, desarrollo, demostración y difusión, relacionada con temas de energía, ambiente y desarrollo sostenible.

GRAFICO 11

ASIGNACIÓN DE RECURSOS PÚBLICOS PARA ENERGÍA, AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA UNIÓN EUROPEA



- Gerencia y calidad sostenibles del agua
- Cambio climático global y biodiversidad
- Desarrollo sostenible de ecosistemas marinos
- La ciudad del mañana y su herencia cultural
- Sistemas de energía limpia, incluidas las renovables
- Economía y eficiencia energética para una Europa competitiva
- Investigación generica
- Ayuda para las infraestructuras de la investigación
- Control de la fusión termonuclear
- Fisión nuclear
- Investigación generica (EURATOM)
- Soporte para la infraestructura de investigación (EURATOM)

Fuente: European Commission, Environment Energy Europe, An investment for now and the Future, 2000.

I. Combustibles fósiles

En cuestión de recursos fósiles, los esfuerzos están dirigidos al desarrollo de estudios e innovaciones tecnológicas relativas a métodos de exploración, explotación y recuperación de hidrocarburos, tecnologías convencionales y avanzadas de conversión del carbón, procesos de producción de hidrógeno y celdas de combustibles (como se verá más adelante), mejoras en eficiencia de equipos de uso final de derivados, y posibilidades, separación y captura de carbono.

Dado que más del 35% de la electricidad y el 70% del acero que se consume en el mundo son producidos a partir del carbón, temas como los minero geológicos, las nuevas tecnologías para gasificación y gasificación integrada, licuefacción, cocombustión, recuperación y reducción de gases y emisiones, y el desarrollo de nuevos productos, entre otros, se tornan cada vez más importantes para mantener la competitividad económica y ambiental de este recurso en mercados no siempre con condiciones completas de competencia, y en un mundo cada vez más consciente de la necesidad de reducir las emisiones contaminantes, en particular las de CO₂. Para atender el reto de la investigación en carbón, se debe trabajar en el aumento de la eficiencia de los procesos de conversión en otros productos y la reducción de las emisiones por cada unidad de energía útil que se obtenga de él.

De la misma manera, en vista de la coyuntura internacional con precios al alza en el petróleo, se continúa trabajando en la búsqueda de opciones energéticas secundarias, como el gas vehicular y los biocombustibles y formas más eficientes de consumo de derivados, principalmente para el transporte.

Con los avances en el desarrollo de técnicas para la gasificación de carbón, aprovechamiento del hidrógeno y las posibilidades de captura del carbono, se espera construir las bases para un sistema moderno, de servicios energéticos ambientalmente amables y de gran impacto social.

2. Energías renovables

La inversión en ciencia y tecnología enfocada hacia la energía renovable ha sufrido una variada evolución. En Estados Unidos, el gasto del gobierno destinado a este propósito cayó entre los años de 1987 y 1990 y a partir de allí ha venido ascendiendo en forma irre-

gular; de hecho en 1999 alcanzó el mismo valor de 1985. Se espera que recobre una tendencia creciente. El gasto del sector privado en energía renovable está agregado con el de conservación y utilización de la energía. El total de estas tres categorías en 1985 fue de US\$429 millones, sin embargo, en 1996 la inversión fue de solo US\$221 millones lo que representó una caída del 48%.

Europa piensa dirigir su inversión a los desarrollos en energía solar (fotovoltaicidad, refrigeración y calefacción), la conversión de la biomasa (gasificación y combustibles líquidos), la producción de hidrógeno y las celdas de combustible y remoción de barreras para extender su penetración y aplicaciones (*European Commission*, 2003). La generación distribuida o descentralizada figura como prioridad, así como las aplicaciones en zonas aisladas o en el campo, el almacenamiento de energía y el desarrollo de métodos para la identificación de soluciones, su evaluación e implementación.

Si bien se espera que el costo de la energía solar disminuya considerablemente, es probable que siga siendo una opción costosa hasta el año 2020 para la generación de energía eléctrica central, pero también es posible que pueda contribuir en mayor medida a la mitigación en mercados especializados y sistemas de generación no tradicionales.

En la actualidad el mercado mundial de Sistemas Fotovoltaicos (SFV) es dominado por la tecnología de silicio cristalino. El costo de producción de módulos de silicio ha disminuido significativamente en la última década, sin embargo es poco probable que estos bajen de US\$2/Wp para producciones menores de 100MWp-año. Con el objeto de lograr mayores reducciones de costos se avanza en la incorporación de tecnologías para fabricar módulos de capa delgada, implementación de programas para estimular el aumento de la capacidad de producción y de demanda de módulos y el desarrollo de nuevos materiales fotovoltaicos que permitan fabricar celdas solares con relación eficiencia/costo comparable a la de las convencionales (CERES, 2004).

Una serie de investigaciones ha mostrado que el uso de la generación fotovoltaica localizada puede ser una solución efectiva para los problemas de sobrecarga y de calidad de la potencia eléctrica en puntos críticos de la red de interconexión. Por otro lado, una serie de proyectos a gran escala de generación distribuida con SFV colocados en los techos de los edificios

e interconectados a la red de distribución local han tenido un enorme éxito en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Este tipo de generación se enmarca dentro de un concepto moderno denominado *Building Integrated Photo Voltaic (BIPVS)*.

La utilización de la biomasa como fuente de energía tiene una larga tradición e importancia en los países en desarrollo. Las restricciones de emisiones de CO₂ han vuelto a poner los ojos en esta abundante fuente, en consecuencia, la búsqueda de soluciones para gasificarla y mezclarla con gas natural y producir combustibles líquidos para complementar la oferta de derivados del petróleo, captan importantes recursos para su desarrollo y difusión.

La solución de generar electricidad y fuerza motriz a partir de los biocombustibles, significaría una innovación tecnológica y un cambio de estrategia de prestación del servicio en las zonas aisladas, al propiciar que la energía y su uso se conviertan en instrumento de desarrollo regional, colocando a la agricultura, no solamente como consumidora sino como originadora de materia prima para la producción de energía.

El hidrógeno como fuente energética es una alternativa muy promisoría actualmente en desarrollo con posibilidades de convertirse en opción comercial en algunas décadas. Puede ser utilizado en aplicaciones móviles y estacionarias; es capaz de impulsar automóviles y sustituir a todas las fuentes de electricidad, desde producir energía para baterías de computadoras portátiles y para usos industriales, hasta generar electricidad a gran escala.

Este energético puede obtenerse de una amplia variedad de fuentes primarias tales como el agua, el gas natural, el carbón y la biomasa. A diferencia de otros tipos de energía como la eólica o la solar que son difíciles de almacenar y en general son intermitentes, este combustible es transportable y permite almacenar energía renovable, con lo cual, se convertiría en una fuente relativamente abundante, confiable y muy poco contaminante.

Es difícil predecir en cuanto tiempo se dará una aplicación masiva del hidrógeno. Existen grandes intereses económicos e inercias que perpetúan la industria del petróleo, sin embargo, las perspectivas de crecimiento económico y de la población y por ende la demanda de energía, en un panorama de reducción de las reservas mundiales de combustibles fósiles, de conflictos y dependencias no deseadas de las regio-

nes productoras y de crecientes problemas de contaminación ambiental asociados a su combustión, han impulsado un creciente interés hacia la búsqueda de combustibles alternativos más abundantes y más limpios que ayuden a diversificar la canasta energética.

Las tecnologías para su producción, almacenamiento, transporte y utilización centralizada del hidrógeno, así como las celdas de combustible, se encuentran en fase de experimentación o demostración y sus costos son relativamente altos.

Existen diversos métodos para la obtención del hidrógeno. Entre los más importantes se pueden mencionar: a) el reformado de vapor a partir de gas natural, que es el más económico y difundido, cuyo costo varía entre US\$5,5 y US\$11,3/GJ; b) la gasificación de biomasa (proceso análogo a la gasificación por medio del vapor), y c) la electrólisis, que aunque es la tecnología más costosa, presenta la ventaja de poderse producir fácilmente en el lugar de demanda, evitando así costos de almacenamiento y transporte.

El hidrógeno en grandes volúmenes puede ser almacenado básicamente como líquido o como gas comprimido. Los costos asociados, corresponden entonces al valor de la energía necesaria para realizar la licuefacción en el primer caso o la energía para comprimirlo y almacenarlo como gas en el segundo caso.

Con relación al transporte y la distribución, sus costos dependen del medio físico que se utilice. Existen tres formas para realizar la entrega: mediante gasoductos, transporte criogénico y pipetas transportadas en camiones. La más económica es la última y su costo debe ser establecido en cada país o región.

Finalmente, en las aplicaciones hay que considerar los costos de los vehículos y de las celdas de combustible. Para los vehículos existen varias alternativas que se comienzan a difundir o están en desarrollo, entre las cuales podemos mencionar los automóviles híbridos es decir de electricidad e hidrógeno, los de solo hidrógeno, los de conversión de hidrógeno en el vehículo o aquellos en que se transforma solamente el motor de combustión del vehículo de gasolina a hidrógeno.

En la actualidad existen algunos vehículos de hidrógeno circulando en diferentes países del mundo, principalmente en Europa, Japón, Canadá, Estados Unidos e Islandia. Estos tienen un costo que dependiendo de

la tecnología y el fabricante oscila entre US\$25.000 y US\$33.000. Por otra parte, de acuerdo con Gregory y Rogner:

Las celdas de combustible permiten la conversión directa de la energía química del combustible en electricidad sin necesidad de combustión y esto le permite alcanzar altos niveles de eficiencia y bajos niveles de emisiones contaminantes. Las celdas exhiben un alto grado de flexibilidad, pudiendo operar con diferentes combustibles como gas natural, metanol, o aun carbón, a partir de los cuales se pueda obtener el hidrogeno necesario para su operación. En el caso de las aplicaciones móviles, la conversión a hidrógeno ocurre normalmente a bordo del vehículo. En el caso de aplicaciones estacionarias, la conversión es normalmente externa aunque algunos diseños permiten integrar el proceso dentro de la celda misma. Adicionalmente, las celdas son modulares y de operación silenciosa.

Existen diversos tipos de celda, dependiendo del electrolito usado en el sistema, que se encuentran en diversos estados de desarrollo y han sido aplicados en diferentes áreas. Las celdas de ácido fosfórico son las más avanzadas hasta ahora, y únicas disponibles comercialmente en el mercado de aplicaciones estacionarias. Sin embargo, las celdas de óxido sólido, que operan a altas temperaturas y por tanto son capaces de proveer calor de alta calidad, están emergiendo como una alternativa atractiva para aplicaciones de cogeneración y podrían incluso ser fusionadas con plantas de ciclo combinado en un sistema híbrido o con un gasificador de biomasa.

La energía eólica tiene diversas aplicaciones y, como se señaló, ha tenido un crecimiento importante. Las inversiones en energía eólica figuran en las tecnologías de conversión para producción de electricidad dada su relativa difusión. La utilización de la energía eólica en la desalinización de agua vía osmosis puede tener gran aplicación en un país como Colombia. Este proceso tiene la ventaja de su bajo consumo de energía comparado con otros procesos de desalinización.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's), han sido utilizadas ampliamente para el suministro de electricidad a mediana escala, tanto en sistemas interconectados como aislados. Las restricciones ambientales unidas a los esquemas de mercado hacen difícil prever desarrollos basados en presas. Las plantas

serán del tipo filo de agua, lo que lleva a operar con aguas con alta carga de sedimentos durante gran parte del año. Se requiere desarrollar equipos robustos para el manejo de estas cargas, tales como las turbinas de impulso, que permiten cubrir una mayor velocidad específica. Esto se ha venido haciendo con turbinas de reacción que no dan la robustez exigida. Este desarrollo será muy útil para países con recursos hídricos dispersos⁵.

Todos los anteriores avances tecnológicos para la producción de energía pueden agruparse dentro de los que se conoce como sistemas de generación distribuida. Se entiende por generación distribuida los sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento a pequeña escala que están situados dentro o cerca de los centros de carga (Zeballos y Vignolo, 2000). La generación distribuida representa un cambio importante en el suministro de energía eléctrica, tanto para los sistemas interconectados como para las zonas aisladas. Tiene su origen en los inicios mismos de la industria eléctrica, puesto que la producción de electricidad se realizaba en el mismo sitio de consumo. Con el crecimiento demográfico y la demanda de bienes y servicios, la industria evolucionó hacia el esquema de generación centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico de consumo. Con el tiempo las plantas de generación se instalaron cerca de los sitios de suministro del energético primario.

El cambio en la concepción de los Estados y de las economías y los menores beneficios por economías de escala, han posibilitado la instalación de nuevas plantas de generación eléctrica más pequeñas, principalmente de gas natural. Si a esto se le suman las nuevas preocupaciones ambientales relativas al calentamiento global nos encontramos que vuelve a cobrar importancia la producción cercana a los centros de consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria eléctrica, pero ahora con innovaciones tecnológicas y con el respaldo de la red del sistema eléctrico para compensar cualquier requerimiento adicional de compra o venta de energía eléctrica. Los avances mencionados hacen prever un nuevo énfasis en la implementación de sistemas más flexibles, hasta llegar a aquellos totalmente distribuidos, con lo cual los proyectos de cogeneración cobran nuevo auge, sin hablar de sus ventajas por menor impacto ambiental.

⁵ CERES, Borradores preparados por Jaime Loboguerrero.

En el contexto internacional el uso de la generación distribuida ha sido impulsado por diversos factores. En Europa, las razones están basadas en aspectos ambientales (Protocolo de Kyoto, ISO 14000), lo cual ha llevado a los países europeos a buscar fuentes de energías renovables y procesos de cogeneración como alternativas. En Estados Unidos su interés es aplicarla para aumentar la calidad de la potencia, como sustituto de la capacidad de transmisión y como una respuesta al alza de los precios de la energía.

En cuanto a la reglamentación, la experiencia internacional muestra que en la mayoría de los casos, las estrategias en esta materia han sido consensuadas y consultadas por comisiones, parlamentos y organismos regulatorios, lo cual ha evitado errores *ex ante* de la toma de decisión. Las propuestas planteadas han ido encaminadas a la concertación de reglas técnicas para la conexión con la red, pues es allí, donde estos registran las mayores barreras contra los generadores distribuidos.

3. Tecnologías de conversión de energía

Las turbinas de gas de ciclo combinado de bajo costo con una eficiencia de conversión cercana al 60%, se han convertido en la principal opción de las nuevas centrales de energía eléctrica en los lugares donde se dispone de un suministro suficiente y una infraestructura adecuada de gas natural. Las tecnologías avanzadas de carbón basadas en diseños de ciclo combinado de gasificación integrada, tienen potencialmente la capacidad de reducir las emisiones a un costo modesto mediante el logro de una mayor eficiencia. La desregulación del sector de la energía eléctrica es actualmente uno de los principales impulsores de las opciones tecnológicas.

La energía nuclear ha logrado aumentar considerablemente la capacidad en las instalaciones existentes, y ello ha permitido mejorar su balance económico lo suficiente como para que la prolongación del periodo de vida de las instalaciones se haya tornado eficaz en función de los costos. Sin embargo, y salvo en el caso de Asia, son relativamente pocas las centrales nuevas que se están construyendo o se proyectan construir.

La construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, con excepción de los proyectos importantes en India y China, también se ha tornado más lenta debido a que existen pocos lugares con potencial, o a veces porque los costos son muy elevados, o porque hay

preocupaciones locales respecto al impacto social y ambiental.

Otro hecho digno de mención es el rápido aumento de las turbinas eólicas, cuyo índice de crecimiento anual ha superado el 25%, y que en el año 2000 superó los 13 GW de capacidad instalada.

Las pilas de combustible pueden convertirse en una fuente combinada de electricidad y calor altamente eficiente a medida que aumente la densidad de la electricidad y continúen bajando los costos. Para el año 2010, la combustión combinada de carbón y biomasa, la gasificación de la leña, el uso de sistemas fotovoltaicos más eficientes, las plantas generadoras de energía eólica en alta mar y los biocombustibles basados en etanol son algunas de las tecnologías capaces de penetrar en el mercado.

Se prevé que las turbinas de gas de ciclo combinado serán las principales proveedoras de capacidad nueva de aquí al año 2020 en todo el mundo, y serán un fuerte competidor para desplazar a las centrales eléctricas de carbón en los lugares donde sea posible obtener fuentes adicionales de gas. La energía nuclear puede reducir las emisiones si se torna políticamente aceptable, por su capacidad de reemplazar tanto al carbón como al gas en la producción de electricidad. La biomasa, obtenida principalmente de los desechos y de los subproductos de la agricultura, así como la energía eólica, también será capaz de contribuir en gran medida a la mitigación del problema energético para el año 2020. La energía hidroeléctrica es una tecnología establecida y hay otras posibilidades, además de las previstas, de que contribuya a reducir las emisiones de CO₂ equivalente.

4. Uso racional y eficiente de energía

Una de las opciones que vuelve a cobrar importancia en la búsqueda de sistemas energéticos más limpios es el uso eficiente y el ahorro de energía. Existe bastante confusión alrededor de los alcances de estos dos términos (Lernit y Jollands, 2001). Por uso eficiente de energía, como su nombre lo indica, se entiende la mejora en la capacidad de los procesos de utilización y transformación, con lo cual sin necesidad de disminuir la demanda de energía útil se obtienen reducciones en la demanda de energía final, sea esta primaria o secundaria. Por ahorro de energía se entiende una reducción de las demandas de energía final causadas por reducciones netas en las demandas de

energía útil, esto es, de los requerimientos de servicios de energía de la sociedad y la industria. El término uso racional de la energía es aún más complejo de definir; abarca en ocasiones los aspectos anteriores más el de la creación de fuentes de energía con bajo porcentaje de carbono. La mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero están relacionadas con el uso de la energía.

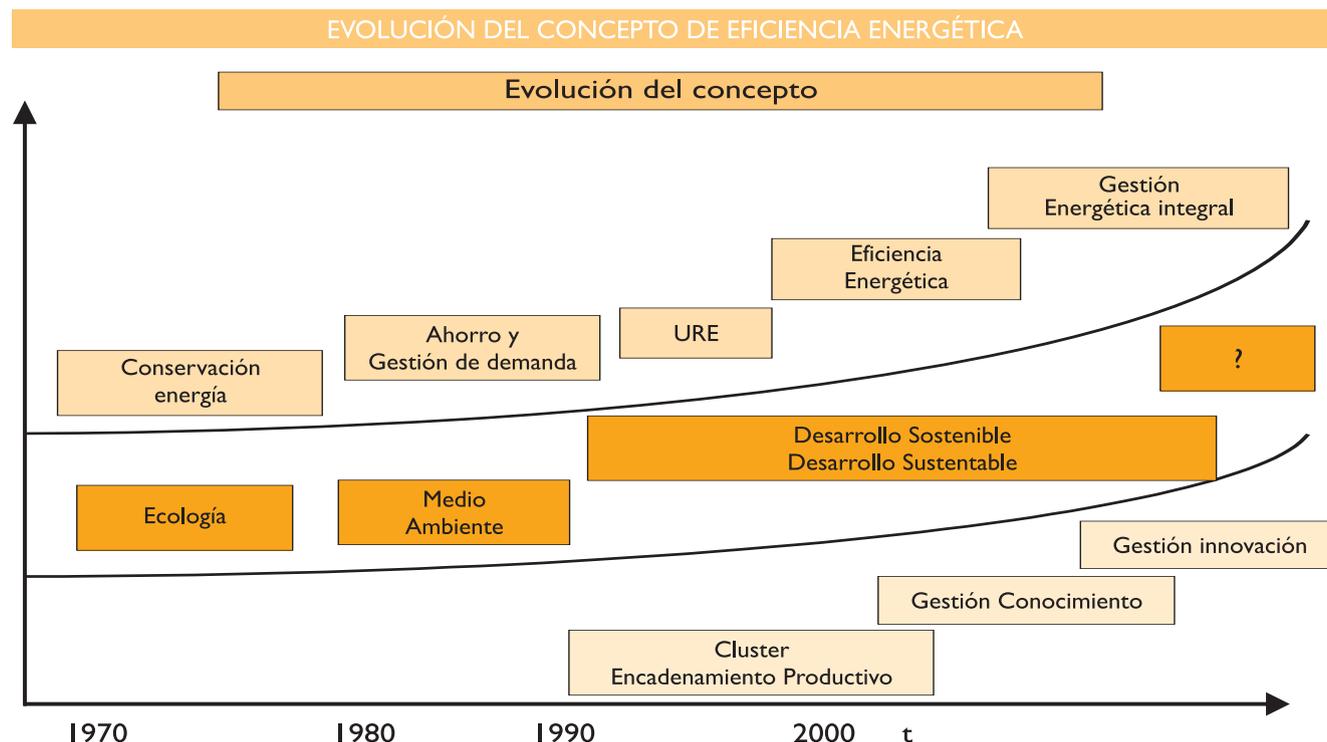
En el mercado global con economías abiertas y esquemas de competencia, surgen nuevos conceptos y enfoques del desarrollo de las sociedades y por lo tanto de las políticas energéticas, productivas, ambientales y de ciencia y tecnología, orientadas a mejorar en forma sustancial la eficiencia en los procesos productivos. Es decir, los conceptos de uso eficiente y ahorro de energía y su entorno para la gestión son cada vez más integrales y complejos, debido a que se deben considerar además de los aspectos energéticos y su relación con el medio ambiente, los concernientes a las tecnologías y específicamente a la innovación.

La eficiencia energética es un concepto en permanente cambio y se ajusta a los nuevos significa-

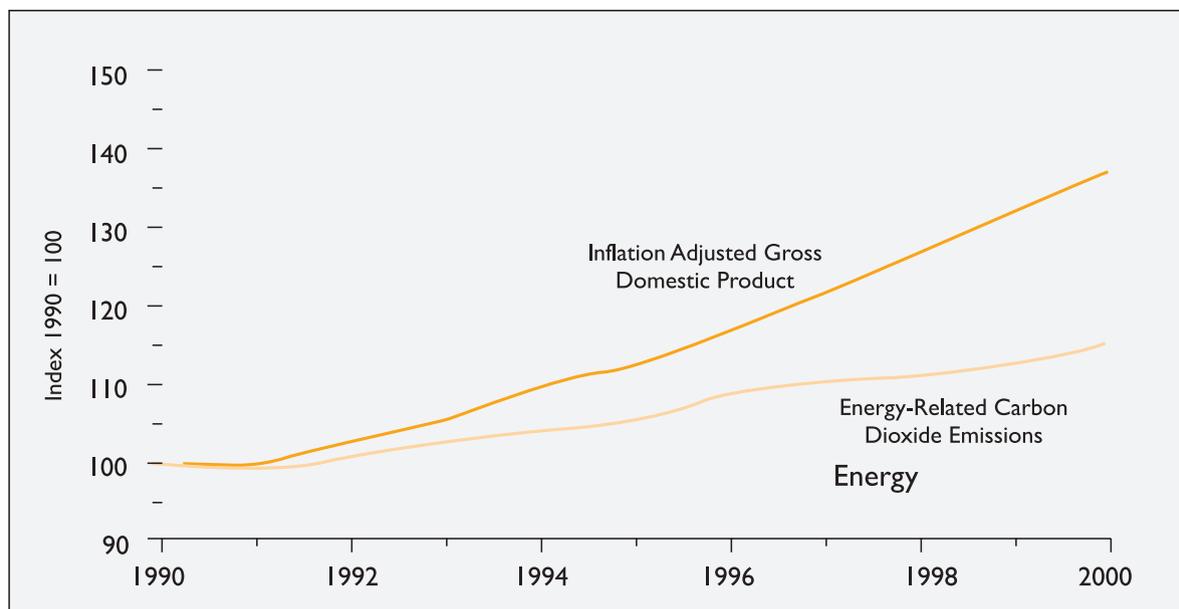
dos de desarrollo y a las dinámicas de las políticas energéticas. Por su naturaleza tiene características técnicas, sociales y económicas relacionadas con las acciones para reducir el consumo y optimizar el uso con impacto en la calidad de vida, en el aumento de la productividad y de la competitividad. El Gráfico 12 trata de precisar la forma en que este concepto ha evolucionado a lo largo de los años (Prías, 2004).

Los avances tecnológicos han llevado a una disminución de la intensidad energética (energía consumida/PIB) en los países desarrollados. La intensidad de carbono (CO₂ emitido/cantidad de energía producida) ha venido disminuyendo recientemente sin mayores políticas gubernamentales referentes a la descarbonización y los compromisos de Kyoto hacen esperar mayores reducciones. No obstante lo anterior, las nuevas demandas de energía ofrecidas por esta evolución tecnológica y el acelerado crecimiento de los países en transición y de algunos países desarrollados, han conducido a un aumento importante del consumo con lo cual se podrían aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero (Gráfico 13).

GRAFICO 12



Fuente: Prías, 2004.



I Based on chaind (1996) dollars.

While gross domestic product (GDP) grew by 38 percent from 1990 to 2000, energy-related carbon dioxide emissions grew by 16 percent. It was primarily the use of less energy per unit of economic output, rather than the use of low-carbon fuels, that the rate of carbon dioxide emissions growth below that of the inflation-adjusted gross domestic product.

Fuente: Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Con algunas excepciones importantes, los países han hecho pocos esfuerzos para revitalizar las políticas o los programas dirigidos a aumentar la eficiencia energética o a promover tecnologías que utilicen fuentes renovables.

La captación biológica de carbono, así como la eliminación y el almacenamiento físicos, podrían complementar los esfuerzos actuales por mejorar la eficiencia, la sustitución de combustibles y el desarrollo de fuentes de energía renovables, pero deben ser capaces de competir económicamente con ellas.

5. Regulación y mercados energéticos

Una de las lecciones más importantes que se ha aprendido es el error de modificar la estructura organizacional y de regulación sin anticipar las acciones de aquellos opuestos a las reformas. El nuevo esquema y la regulación en particular implican una redistribución de rentas, la cual se discute en la arena política, principalmente.

Un programa de apoyo a la regulación debe ubicarse en medio de dificultades institucionales, políticas y económicas. Hay una colección de medidas regulatorias que no son robustas ante choques económicos externos o ante la aparición de coaliciones de opositores a las reformas. El enfoque de las tareas de apoyo debe ser entonces el diseño de políticas de alto nivel que garanticen la supervivencia de medidas positivas y la profundización del apoyo estatal y social.

Así mismo, pueden surgir nuevos conocimientos y capital humano a partir de gastos en investigación y desarrollo, mediante aprendizaje experimental o proceso evolutivo. Las economías en rápida evolución, así como las estructuras sociales e institucionales, ofrecen oportunidades de inserción a nuevos esquemas que pueden llevar a los países por vías de desarrollo sostenible. Esas vías estarán sujetas a la influencia del contexto socioeconómico que reflejará los precios, la financiación, el comercio internacional, la estructura del mercado, las instituciones, el suministro de información y factores sociales, culturales y de comportamiento, los cuales se determinan claves en un mercado competitivo.

C. INTEGRACIÓN EN MATERIA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Cada bloque industrial, político o cultural, configura autónomamente su desarrollo y relación con la naturaleza y este obedece a su particular interpretación de su propósito político. En este marco internacional de la globalización se presentan variados modelos o tendencias según los propósitos de obtención de recursos naturales energéticos, para las finalidades políticas, económicas y de seguridad de los diferentes intereses y bloques conformados regional o económicamente. La definición de esos intereses respecto a ciencia y tecnología afectan nuestro progreso y tienen mayor impacto las posiciones de la Organización Mundial de Comercio (OMC), los Estados Unidos, la Unión Europea y la negociación en curso del Tratado de Libre Comercio (TLC) y el Acuerdo de Libre Comercio para las Américas (ALCA).

I. La Organización Mundial del Comercio

La OMC, en la conferencia ministerial de Doha (Qatar), con la presencia de 121 países estableció la conformación de un grupo de trabajo, con la finalidad de examinar la relación existente entre el comercio y la transferencia de tecnología de los países desarrollados a los países en desarrollo, así como las maneras de incrementar las corrientes de tecnología hacia estos últimos.

El punto 37 de la Declaración, fruto de esa conferencia, establece respecto a comercio y transferencia de tecnología: “Convenimos en que se lleve a cabo, en un grupo de trabajo bajo los auspicios del Consejo General, un examen de la relación existente entre el comercio y la transferencia de tecnología, y de posibles recomendaciones sobre las medidas que cabría adoptar en el marco del mandato de la OMC para incrementar las corrientes de tecnología hacia los países en desarrollo. El Consejo General informará al quinto periodo de sesiones de la Conferencia Ministerial sobre los progresos realizados en el examen” (OMC, 2001).

En diferentes disposiciones de los acuerdos de la OMC se menciona la necesidad de que haya una trans-

ferencia de tecnología entre los países desarrollados y en desarrollo. No obstante, no está claro ni el modo de llevarla a cabo en la práctica ni si cabría adoptar medidas específicas en el marco de la Organización para fomentar esas corrientes de tecnología.

2. La perspectiva de la Unión Europea

El problema que plantea el modo de vida europeo es la solución a la necesidad de continuar disminuyendo la intensidad energética (cantidad de energía necesaria para producir una unidad de riqueza). Esta perspectiva nace en la crisis energética de 1974, cuando la guerra del petróleo convirtió este recurso en un arma política. Los altos precios pusieron su economía en peligro y plantearon la necesidad de búsqueda de múltiples alternativas. Esta exigencia se hizo un poco más laxa desde mediados de la década de los ochenta cuando los precios del petróleo parecieron estabilizarse en rangos aceptables.

Sin embargo, Europa depende en un 50% de sus importaciones energéticas y esta dependencia subirá hasta 70% hacia el 2030. Este hecho, más el compromiso de los países europeos con la reducción de gases de efecto invernadero han vuelto a hacer de la eficiencia energética una prioridad en materia de inversiones (*European Commission, 2002*).

En este contexto, la ciencia y la tecnología desempeñan un papel fundamental⁶, como se pudo apreciar en el Gráfico II. Los temas asociados a la seguridad de abastecimiento energético y reducción del impacto negativo de la contaminación, abarcan una extensa temática⁷ que va desde energía limpia a precios razonables y en cantidad suficiente; disminución del consumo de combustibles fósiles y de la dependencia del exterior y asegurar el abastecimiento externo; investigación y seguridad en la producción de energía nuclear; sustituir los carburantes de locomoción; encontrar nuevos proveedores y controlar las reservas nacionales europeas; fomentar las energías renovables; reducir la intensidad energética en los hogares y el transporte; el pago justo por el precio de la energía, y la liberación hacia un mercado único. Todo esto necesita ser resueltos para que Europa mantenga el ritmo de crecimiento de su economía y el nivel de vida (*European Commission, 2000*).

⁶ Ver: ‘La Unión Europea en investigación e innovación’. http://europa.eu.int/pol/rd/overview_es.htm

⁷ *Ibid.*, Energía, controlemos nuestra dependencia.

La Unión Europea afronta problemas al momento de convertir sus avances científicos en tecnologías comerciales. El actual programa marco de innovaciones pretende contribuir a salvar esa brecha.

3. La perspectiva estadounidense

La política de ciencia y tecnología de los Estados Unidos de América tiene como uno de sus objetivos el incremento de la conservación y la eficiencia de la energía⁸. Sus principales esfuerzos los centra en programas de energía comunitaria asistidos con recursos federales (Departamento de Energía, 2001) para implementar y fomentar el uso más eficiente de energía como un medio de reducir el impacto ambiental negativo, conservar recursos y reducir contaminación. Su objetivo principal es que el usuario pueda reducir el consumo de energía, los costos de operación y la contaminación. Los programas del Departamento de Energía están dirigidos al ahorro en los costos de energía residencial, comercial, industrial y gubernamental, mediante información sobre tecnología avanzada de construcción, así como de sociedades y actividades que promuevan la eficiencia y prevengan la contaminación.

Ante el desafío que plantea un posible cambio climático, los programas tienen como fundamento el esfuerzo voluntario del Departamento de Energía y de la industria de compañías de electricidad para reducir, evitar, o controlar los gases de efecto invernadero. Las empresas, en sociedad con el Departamento de Energía, identifican e implementan actividades específicas de costo efectivo. Las acciones a las que las empresas se han comprometido incluyen: mejoras de eficiencia en uso final, distribución, transmisión y generación; aumento en el uso de electrotecnologías de eficiencia energética; cambio a combustibles más bajos en carbono, tales como gas natural, nuclear o energías renovables.

Tres entidades tienen la misión específica de desarrollar tecnologías: a) la Oficina de Tecnologías de Energía en energías limpias y competitivas incluyendo energía renovable (solar, eólica, geotérmica y biomasa), almacenamiento, hidrógeno y superconductores; b) el Laboratorio Nacional de Energía Renovable cuya misión es desarrollar tecnologías de energía renovable y transferirlas al sector privado, y c) la División de

Tecnologías Energéticas Medioambientales del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, que conduce investigaciones multidisciplinarias en tópicos de energía y medio ambiente para avanzar en su uso eficiente y aceptable.

4. La perspectiva desde las Américas (ALCA y TLC)

El Área de Libre Comercio para las Américas (ALCA) nació de la propuesta de los Estados Unidos de América de constituir un mercado de libre comercio entre los países de América (con excepción de Cuba), con la pretensión de incentivar el crecimiento y ayudar a la estabilidad política de América Latina mediante estímulos al comercio, el freno al endeudamiento y el incremento de la inversión extranjera. De hecho, el ALCA es un poderoso aliciente para que inversionistas foráneos decidan poner sus capitales en países antes cerrados o poco estables en materia jurídica para los negocios.

Así mismo, en las diversas cumbres presidenciales llevadas a cabo para implementar el acuerdo, se han identificado las necesidades hemisféricas de reevaluar la interacción que existe entre la infraestructura científica y tecnológica y los mecanismos de cooperación de la región; reducir las barreras a la colaboración; aumentar la demanda de tecnología; divulgar la información acerca de las oportunidades tecnológicas mediante los nuevos avances en materia de información y comunicaciones, y mejorar las comunicaciones entre las organizaciones de ciencia y tecnología, los investigadores de la región y las numerosas pequeñas y medianas empresas dedicadas a la tecnología.

Las reuniones ministeriales de la minería⁹, siete hasta el momento, han establecido como prioridades el desarrollo sostenible de minerales y metales, las concesiones mineras, el desarrollo de recursos humanos, la reglamentación medioambiental, la minería en pequeña escala y el uso seguro de minerales y metales, y la necesidad de desarrollar y aumentar la explotación (industrial) de minerales no metálicos en la extracción a escala industrial.

A su vez, las reuniones ministeriales de la energía¹⁰, seis hasta el momento, han establecido como

⁸ Estados Unidos de América (2001) National Energy Policy Development Group. Report: Reliable, Affordable, and Environmentally Sound Energy for America's Future. Mayo.

⁹ Santiago de Chile 1996, Arequipa 1997, Buenos Aires 1998, Caracas 1999, Vancouver 2000, Santo Domingo 2001, Quito 2004.

¹⁰ Washington 1995, Santa Cruz 1996, Caracas 1998, Nueva Orleans 1999, México 2001, Trinidad y Tobago 2004.

prioridades energéticas el uso del gas natural, la regulación de la energía, la utilización de energía limpia, la armonización de los combustibles en América Latina y el Caribe, la armonización de las normas sobre energía y la electrificación rural. Igualmente, identifican como retos del sector de la energía en el Hemisferio el estudio y solución de problemas planteados en los temas relacionados con energía y desarrollo social, energía y medio ambiente, energía e integración, energía y regulación, como temáticas nuevas surgidas de las experiencias de adaptación a la globalización.

El acuerdo de mayor impacto, para el futuro energético de las Américas lo constituye la Iniciativa Energética Hemisférica (IEH)¹¹, mecanismo de funcionamiento permanente que tiene como objetivos: Apoyarse en la energía para promover un crecimiento económico sustentable; facilitar mecanismos de financiación; aumentar las inversiones; promover tecnologías de energía eficientes y no contaminantes; e intensificar los esfuerzos emprendidos de servicios de electricidad.

Una clara conclusión de muchos estudios enfocados hacia la demanda futura de energía, es que la población está creciendo y cada vez busca más altos estándares de vida, lo cual quiere decir finalmente que aumentará la demanda global de energía y en particular de electricidad para este siglo. Poderosas medidas de conservación de energía y mejoramiento de los usos para alcanzar la eficiencia energética, deben ser puestas en marcha, para mitigar estos problemas. Igualmente, se espera que inversiones en el desarrollo de tecnologías para la utilización de energías renovables y recursos fósiles en forma limpia, así como los esfuerzos para el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para carbón y gas, em-

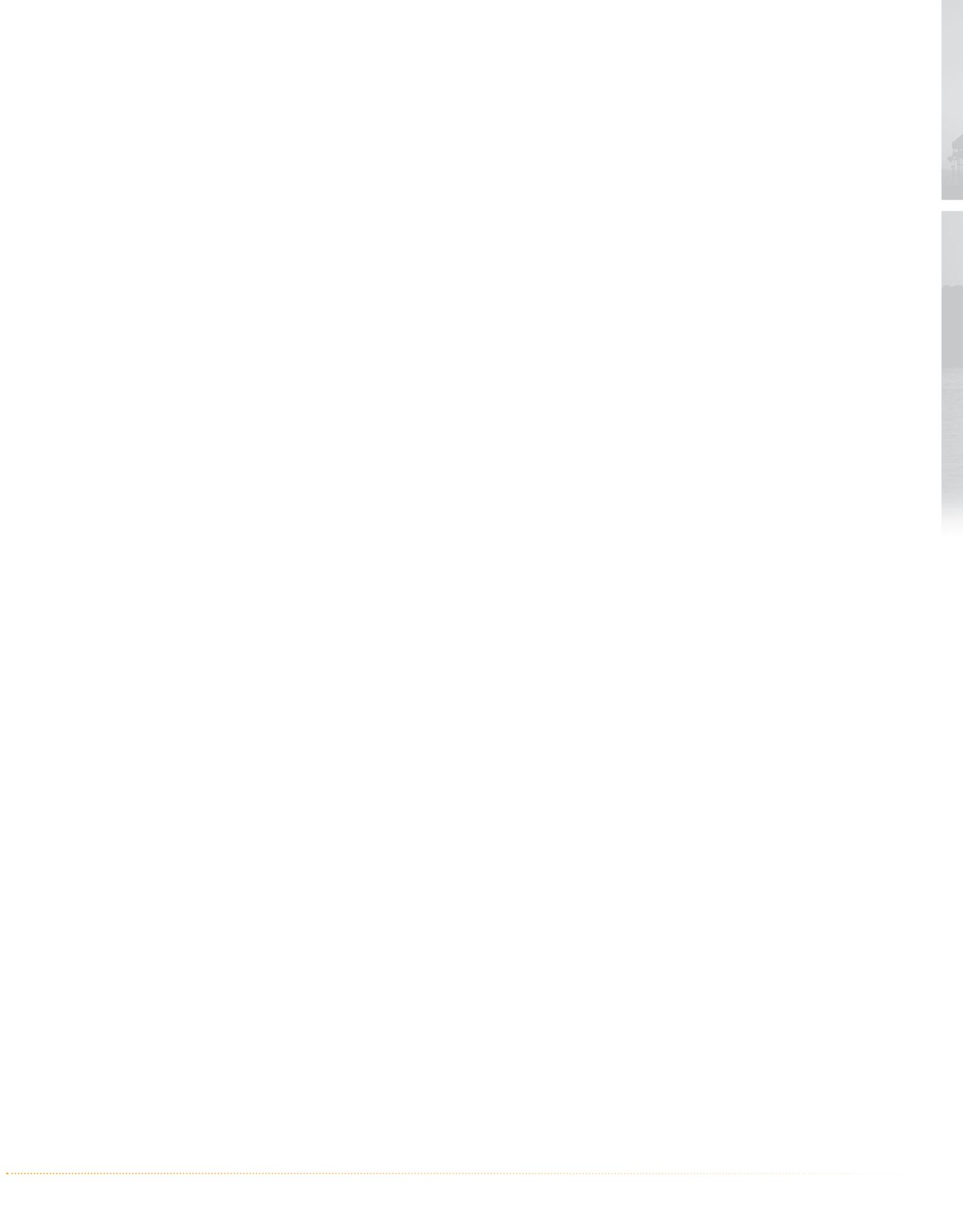
piecen a ser especialmente importantes y algunas de ellas imperativas.

El comportamiento a la baja de los presupuestos en materia de investigación y desarrollo en energía en el mundo debe revertirse en los próximos años para alcanzar los logros de desarrollo sostenible que se ha trazado el mundo. Posiblemente no se van a alcanzar los presupuestos de finales de los setenta cuando el abastecimiento de los países industrializados estuvo en riesgo y el aumento de los precios del petróleo impactó negativamente la economía. Sin embargo, los acontecimientos recientes en el Oriente Medio y la puesta en vigor del Protocolo de Kyoto, hacen prever que la actividad de ciencia y tecnología volverá a dinamizarse en el futuro cercano.

Por otra parte, en el marco del ALCA se generó una dinámica de negociaciones y un proceso de adaptaciones entre los diferentes países hacia la construcción de condiciones viables para obtener una mejor posición económica. Esto llevó a la negociación de diferentes tratados comerciales entre los que se destacan el firmado por México con Estados Unidos y Canadá (TLCAN) y el Tratado de Libre Comercio (TLC) que Colombia y otras naciones latinoamericanas están negociando con Estados Unidos. Este tratado fortalece la conformación de bloques de países con características similares para obtener mejores resultados en las negociaciones.

Con el TLC, el sector minero energético y otros sectores de la actividad económica tendrán una base más sólida para desarrollarse. No obstante, esto exige un gran esfuerzo para lograr estabilidad en el tiempo, traducida en mayor inversión en investigación e implementación de tecnología de punta que haga más competitiva a la región.

¹¹ Cumbre de Nueva Orleans, 1999





CAPÍTULO III

CONTEXTO MINERO Y ENERGÉTICO NACIONAL

CONTEXTO MINERO Y ENERGÉTICO NACIONAL

Los sectores minero y energético son de gran importancia para el país, no solo por su contribución al PIB, como insumo de muchas actividades productivas y que mejoran la calidad de vida, sino por su contribución a la balanza de pagos.

A. EL PANORAMA MINERO¹²

Durante la última década la actividad minera colombiana ha registrado un importante crecimiento en el volumen y valor de la producción, así como en su cuota de exportaciones. Consecuentemente, su aporte al crecimiento global de la economía colombiana ha sido sostenido y hasta ha compensado la baja registrada en la producción y exportación de hidrocarburos.

Este exitoso desempeño del sector minero está sustentado, básicamente, en el progresivo desarrollo de la minería del carbón y en menor proporción en la de oro y ferróniquel, como se verá a continuación. Paralelamente, la evolución de los precios internacionales de estos tres minerales ha sido altamente favorable para estimular el crecimiento de la actividad minera y para amortiguar el efecto adverso que la apreciación del peso ha tenido sobre las exportaciones.

I. Carbón¹³

Colombia durante el 2003 produjo 49,47 millones de toneladas de carbón, de las cuales 48,22 millones son carbones térmicos y 1,25 millones son metalúrgicos; de este total se exportaron 45,56 millones de toneladas.

La zona carbonífera de La Guajira es en el país la mayor productora de carbones térmicos para exportar con un total de 22,49 millones de toneladas. En segundo lugar está Cesar con una producción de 21,11 millones de toneladas del mismo carbón también para exportación.

En el resto del país la producción fue de 5,87 millones de toneladas. Es importante resaltar que la producción de carbones metalúrgicos y coque en Cundinamarca, Boyacá y Norte de Santander, ha tenido un importante repunte debido a la demanda internacional de estos dos productos.

Vale la pena anotar que la producción de la mina La Guacamaya en Córdoba se incrementó, de 100.000t/año en años anteriores a 219.000 t/año, durante el 2003.

Se espera que para el año 2006 la producción total del país sea de 58,1 millones de toneladas, con un crecimiento del 17,6% en relación con el año 2003,

¹² Varios apartes de esta sección fueron tomados de UPME, 2005, Plan de Minería 2019, documento preliminar, Bogotá.

¹³ Ver, Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2004.

consolidándose las zonas de La Guajira y Cesar como las más importantes productoras y exportadoras de carbón en el país, con más del 90% de la producción nacional.

2. Metales preciosos

En la rama de los metales preciosos, la producción de oro ha sido y es la más relevante en Colombia. Sin embargo, y a pesar de su bajo volumen, la producción de los metales del grupo del platino está adquiriendo cierta importancia.

En la última década la producción de oro ha sido de 20 t/año en promedio. Llama la atención sin embargo, que durante 1999, 2000 y 2003 se han presentado picos en la producción. Especialmente el crecimiento en este último año es el más destacado, con el 123% respecto al 2002 y superó el máximo nivel de producción histórica de 39,99 toneladas registrado en 1986 (UPME, 2005).

Este aumento en la producción está relacionados más con las tendencias de los precios de este metal en el mercado internacional, que con un aumento en la capacidad productiva de empresas mineras productoras de oro. La producción en Colombia proviene principalmente de los departamentos de Antioquia, Córdoba y Bolívar con cerca del 90%.

Por su parte, la producción de platino proviene en un 98% del departamento del Chocó. Llama la atención que ésta ha crecido en los dos últimos años; quizá a causa de los altos precios observados durante el mismo periodo. Empero, debe aclararse que por diferentes circunstancias, la producción de metales del grupo del platino se registra genéricamente como de platino.

3. Ferroníquel

La mina de Cerromatoso en Montelíbano (Córdoba) es la principal fuente mundial de suministro de ferroníquel de alta calidad. Opera desde 1982 y a principios del año 2001 entró en servicio una segunda línea de producción en su planta de beneficio, con la cual la capacidad nominal de la planta aumentó de 25.000 a 55.000 toneladas. Ya en el 2003 la producción se acercó a las 48 mil toneladas anuales y en 2007 está proyectado producir 54.200 toneladas.

Las reservas de ferroníquel de Cerromatoso, calculadas sobre la base de la información de IN-GEOMINAS, eran para el año 2002 de alrededor de 49.768.000 toneladas, con tenor promedio de 2% de níquel.

4. Esmeraldas

El grueso de la producción esmeraldífera colombiana está destinado a mercados externos. Se estima que alrededor del 98% del volumen producido es exportado y que solo el 2% se queda en Colombia. Los registros oficiales sobre producción de esmeraldas corresponden al volumen exportado y su valor es el declarado por el exportador.

Las exportaciones de esmeraldas, luego de una tendencia declinante, ascendieron en el 2003 a casi a nueve millones de quilates, con un crecimiento de 66,3% con relación al 2002. Las esmeraldas se exportan en tres modalidades: en quilates tallados, engastados y en bruto. Para el último año, el 98% de los quilates exportados en bruto correspondieron a morrallas de mínimo del valor.

El hecho de llegar a concentrar mucho valor en pocas piedras –lo cual hace imposible establecer un precio fijo por quilate de esmeralda– y la imposibilidad de prever el comportamiento de las zonas mineralizadas en fase de aprovechamiento, le restan valor a cualquier apreciación sobre el futuro de esta rama minera.

5. Producción de materiales de construcción

La producción de materiales de construcción –arenas, recibos, agregados pétreos para preparación de concretos, piedras para enchapes y arcillas para fabricación de bloques y ladrillos– es uno de los principales renglones de la actividad minera nacional, solo superada en valor por la producción de carbón, pero en volumen ocupa un indiscutible primer lugar. La producción de estos materiales, aunque su ritmo está atado al vaivén de los ciclos de la industria de la construcción y su estructura productiva tiene un alto componente de informalidad, es una de las ramas más importantes del sector minero, tanto por su valor económico como por su incidencia social.

No se cuenta con información oficial sobre el volumen y valor de la producción de estos materiales. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), obtiene indirectamente estos datos a partir del cálculo de la demanda, mediante el cómputo de metros cuadrados construidos de edificaciones y obras de infraestructura.

B. EL PANORAMA ENERGÉTICO

El sector energético ha sido fuente importante de divisas en los últimos veinte años; el petróleo es el primer producto de exportación desde 1995 (Banco de la República, 2004) y el carbón el segundo lugar desde 2001, pese a que su exportación apenas comenzó en 1983. La actividad de explotación de estos dos energéticos ha generado \$1.831.374 y \$183.513 millones (corrientes de 2002) respectivamente por concepto regalías (UPME, 2004). La problemática actual se puede precisar en forma sucinta así:

- En el corto plazo no se ve claramente otro producto capaz de sustituir el volumen de ingresos que podrían perderse por la baja en las exportaciones del crudo, con excepción tal vez de las esmeraldas y el oro en forma conjunta.
- En el corto y mediano plazo dados: a) la situación internacional en materia petrolera; b) los avances orientados a ampliar los mercados de electricidad y gas mediante interconexiones internacionales, y c) los hechos políticos en América Latina, podría pensarse que existe de nuevo un ambiente apropiado para discutir y plantear acuerdos energéticos en la región. Las negociaciones en el marco del Tratado de Libre Comercio son fundamentales.
- En el mediano y largo plazo hay que pensar en las posibilidades de producir y exportar bienes y servicios que incorporen mayor valor agregado, en este caso productos petroquímicos o carboquímicos. Es importante que el país abandone la senda de exportador neto de materias primas. Esta posición lo hace muy vulnerable al manejo de precios internacionales, a los acuerdos, coaliciones o desacuerdos políticos y al estado del tiempo.

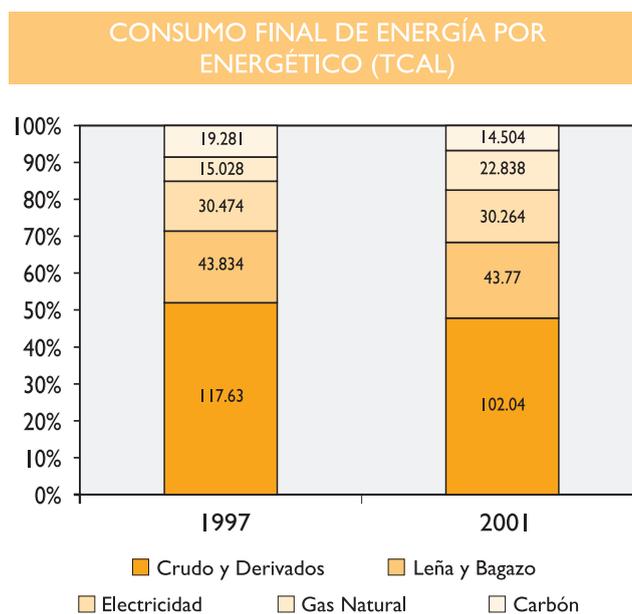
I. Consumo de energía¹⁴

A partir de 1998, Colombia atravesó una de las peores crisis de los últimos años. El crecimiento económico fue cada vez menor, lo cual naturalmente se vio reflejado en una disminución del consumo final de energía para el periodo 1998-2001. Esta situación, unida al aumento en los precios de los derivados del petróleo y al robo y contrabando de combustibles, así como a la penetración del gas y algunas nuevas tecnologías de uso final más eficientes, resultaron en una reducción del consumo per cápita de energía final, el cual era de 5,73 Gigacal/hab en 1997, mientras que en 2000 fue de 4,85 Gigacal/hab.

El petróleo y sus derivados son las principales fuentes de energía en el país. En el año 2001 aportaron el 43% del consumo total. El consumo interno de carbón mineral redujo su participación porcentual en la canasta energética debido a la conformación del mercado de energía eléctrica y a algunos lineamientos ambientales que aspiran a incrementar el consumo de combustibles limpios y eficientes. El gas natural aumentó su participación en 10% a partir de 1997, como resultado del plan de masificación en el sector residencial.

En el Gráfico 14 se puede observar el consumo final de energía por energético para el periodo correspondiente a los años 1997 y 2001.

GRAFICO 14



Fuente: UPME

¹⁴ Tomado de la UPME, Plan Energético Nacional, "Estrategia energética integral visión 2003-2020" Bogotá 2003.

2. La demanda de energía

Según la información de la UPME, en el mediano plazo se espera una tasa de crecimiento del 3% anual promedio para la energía final, con lo cual, la demanda será de alrededor de 365.309 Tcal en el año 2020. Estas previsiones contemplan la penetración de energéticos altamente eficientes como la electricidad, el gas natural y las energías renovables y una reducción de la intensidad energética de 2,8 Gcal por millón de PIB en el 2002 a 2,4 Gcal por millón de PIB en el 2020. Siendo Colombia un país en vía de desarrollo, la demanda per cápita tiende a crecer y se espera hacia el 2020 un consumo por habitante de 6,1 Gcal.

En cuanto a la demanda de combustibles en el país, el petróleo y sus derivados seguirán siendo los principales energéticos de la canasta, ya que están destinados en su gran mayoría al transporte, el cual presenta la tasa más alta de crecimiento en el mediano plazo. El carbón aumentará levemente su contribución en la canasta energética gracias a su posicionamiento en el sector industrial como principal combustible. El gas natural y la electricidad aumentarán su participación dadas sus características de eficiencia energética y ambiental y las condiciones favorables del mercado. En el Gráfico 15 se puede observar la proyección de demanda de energía final por fuente.

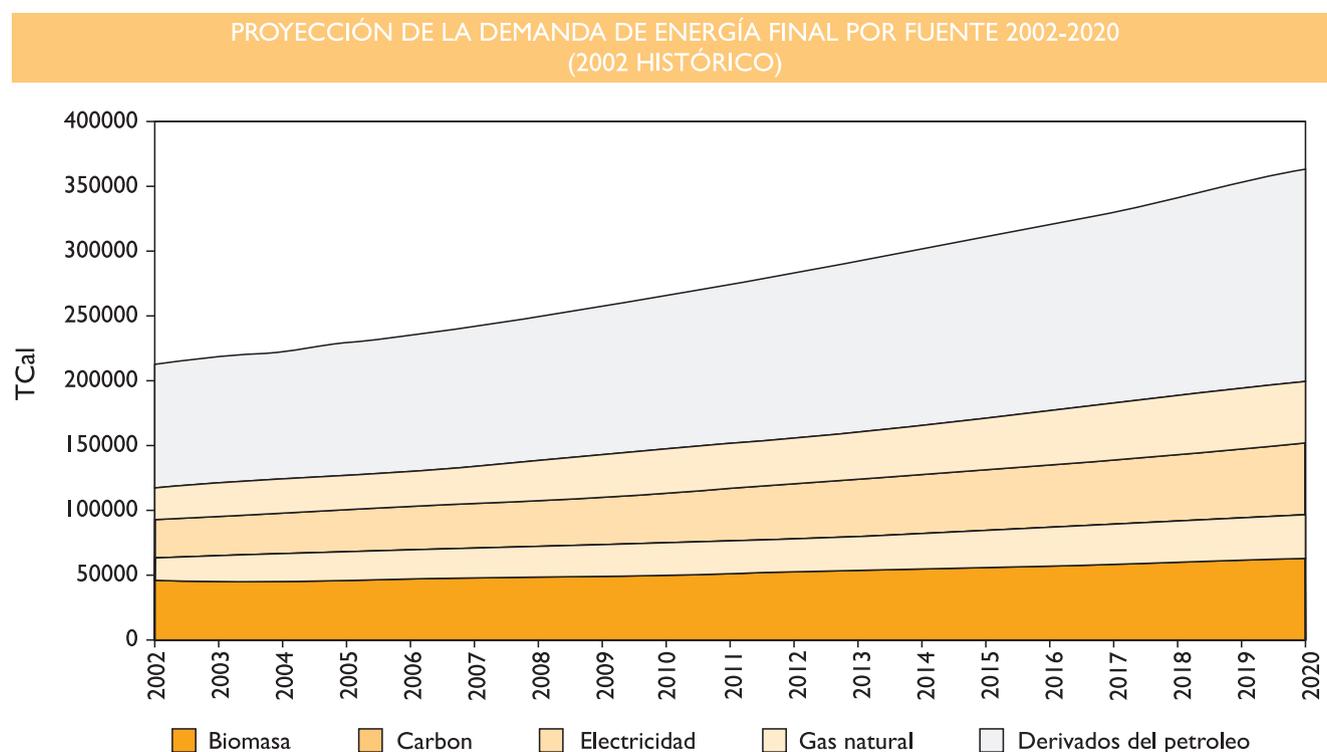
3. Reservas y oferta

Colombia dispone de una gran variedad y alguna cantidad de recursos energéticos, los cuales le han permitido atender sus requerimientos internos y contribuir de manera importante en la generación de divisas y recursos a la economía nacional.

El carbón es el principal recurso del país, desde el punto de vista del tamaño de sus reservas. Las reservas probadas ascienden a 6.611 millones de toneladas, que siguiendo la línea de producción actual alcanzarían para 90 años. En la zona norte del país está localizado el 80% del total de la reservas, condición que permite realizar proyectos destinados a la exportación. No obstante, en los últimos años con la reducción de consumo interno de carbón térmico, se han intensificado las exportaciones de carbón metalúrgico del interior del país.

La situación con las reservas de petróleo no es tan halagüeña hoy en día como lo fue en las dos décadas anteriores. Se cuenta con alrededor de 1.542 millones de barriles (a diciembre de 2003), lo cual significa una relación reservas/producción de casi ocho años. Si no se descubren reservas adicionales, el país deberá comprar petróleo a sus asociadas a partir del 2011 e importar a partir de 2025.

GRAFICO 15



En relación con el gas natural, existen reservas probadas de 6.336 Gpc, las cuales alcanzarían para más de veintiocho años a la tasa actual de producción.

La capacidad de generación eléctrica total instalada en el país es de 13.363 MW, de los cuales 8.557 MW, son hidráulicos, 692 MW, corresponden a plantas de carbón, 3.702 MW, a plantas de gas y los 412 MW restantes a otros tipos de plantas no convencionales.

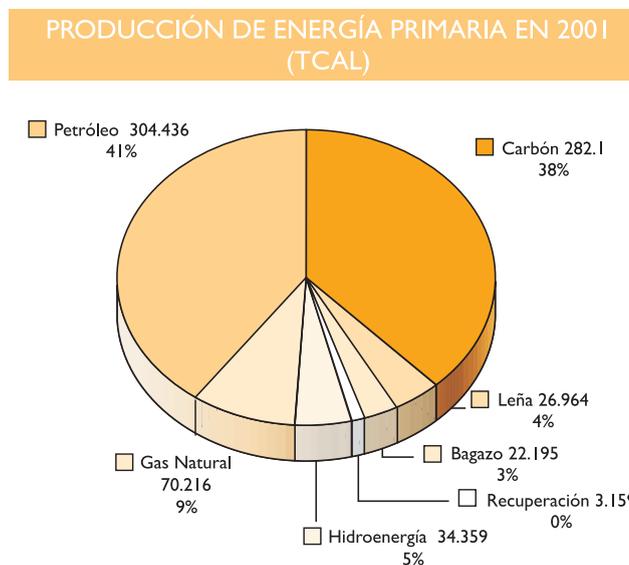
Con respecto a la producción de energía primaria se tiene que el 88% corresponde a fuentes no renovables como petróleo, carbón mineral y gas natural. En 2001, el petróleo representó el 41% de la producción, el carbón el 38% y el gas natural solo el 9%. El 12% restante de producción de energía primaria correspondió a las renovables, básicamente hidroenergía, leña y bagazo.

En cuanto a nuevas fuentes de energía, Colombia es un país que por su situación geográfica cuenta con un buen nivel de radiación solar todo el año, con posibilidades localizadas para la utilización de la energía eólica y con buena cantidad de residuos aprovechables de biomasa.

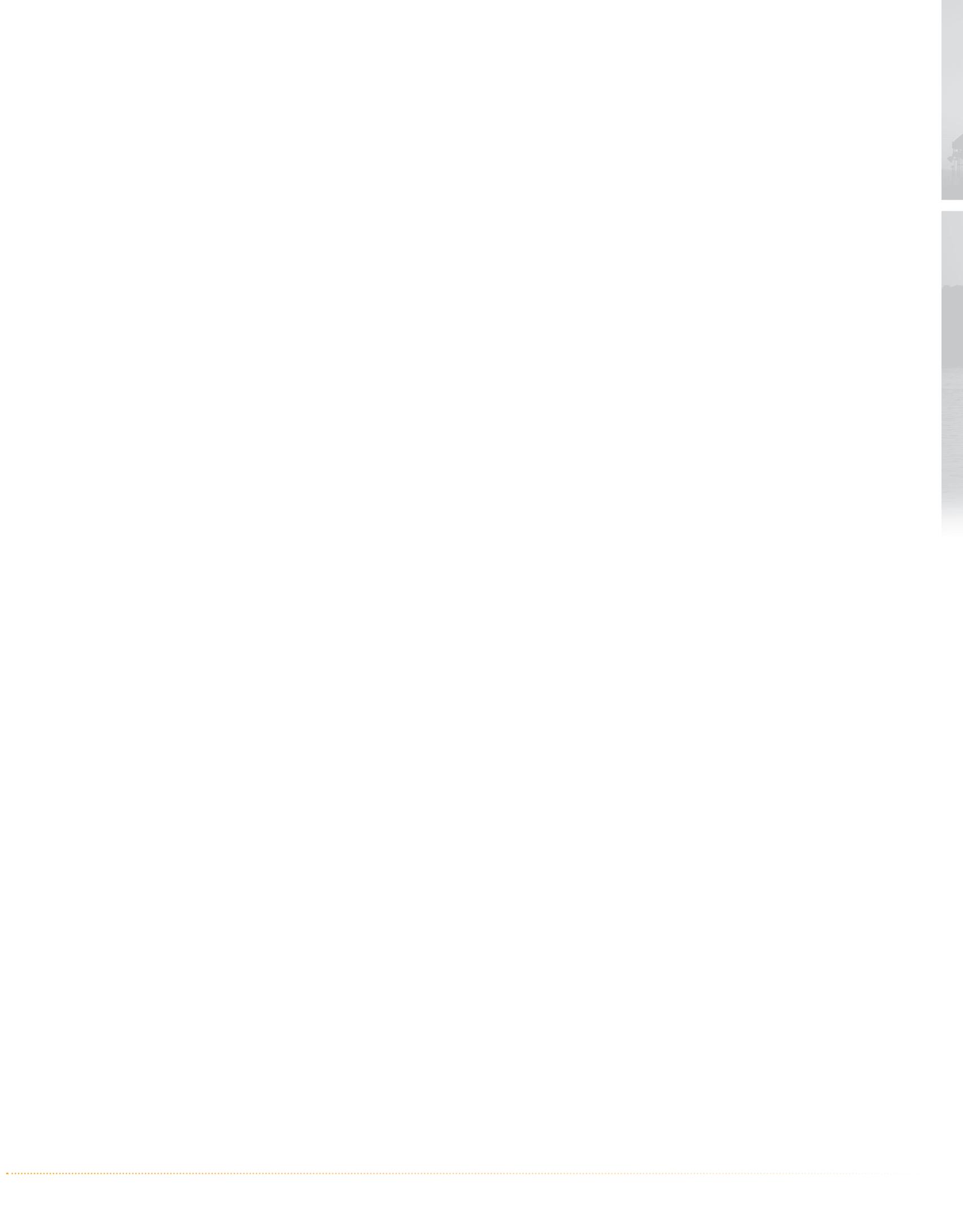
El país ha dado un paso adelante en cuanto a energías renovables. En el caso de la energía eólica, se ha

desarrollado el proyecto Jepirachi en La Guajira el cual tiene una capacidad instalada de 19,5 MW y están en estudio proyectos similares en zonas como la Costa Atlántica y las islas de San Andrés y Providencia. El Gráfico 16 muestra la producción de energía primaria en el 2001.

GRAFICO 16



Fuente: UPME.





CAPÍTULO IV

AVANCES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN EL PAÍS

AVANCES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN EL PAÍS

Como se mencionó en la introducción, Colciencias comenzó explícitamente a fomentar y financiar las actividades de investigación y desarrollo en energía desde 1985 y en energía y minería desde 1990. El primer plan o programa tenía como objetivos específicos los siguientes:

- Desarrollo carbonífero, único orientado por recurso, debido a la necesidad de mejorar su bajo desarrollo y utilización.
- Conservación y sustitución de energía que, muy acorde con las preocupaciones mundiales de finales de la década de los setenta, aspiraba a lograr una mayor racionalidad en el uso de la energía en sus diversas formas.
- Bienes de capital y desarrollo industrial, que también, muy acorde con los modelos de desarrollo imperantes en América Latina en ese entonces, pretendía que las inversiones del sector de oferta energética impulsasen el desarrollo tecnológico e industrial del país.
- Desarrollo, adaptación y difusión de tecnologías, orientados hacia la diseminación de tecnologías de uso final.
- Planificación energética, sistemas de información y capacitación con la finalidad suministrar los elementos de apoyo para la adecuada implementación de los cuatro subprogramas anteriores.

Entre este programa y el actualmente vigente se publicó un documento denominado 'Ciencia contra la oscuridad' en 1993, a raíz de la creación del Sistema

de Ciencia y Tecnología. Esta publicación fue elaborada con el concurso de expertos nacionales y como resultado de talleres con los investigadores nacionales en los cuales se analizaron estos trabajos y se discutieron las bases para un plan de programa. Más que definir líneas de acción, en este documento se estructuró el Sistema de Ciencia y Tecnología de estos subsectores y el Consejo Nacional responsable de llevar adelante la "nueva estructura institucional" para la ciencia y la tecnología. Es importante anotar que este documento hacía parte de una serie de publicaciones generales y sectoriales, en las cuales, además de los problemas sectoriales y de las disciplinas, se establecían los criterios y procedimientos para la asignación de recursos a los grupos y temas de investigación.

En el PIEM se proponían los siguientes objetivos específicos, cada uno de ellos con sus estrategias correspondientes.

- Promover la cultura de la innovación en la industria minera y energética.
- Intensificar la integración y cooperación tecnológica entre empresas, universidades, Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT's) y demás instancias e instituciones del sector minero-energético.
- Generar divisas por la exportación de recursos mineros y energéticos, con un alto contenido tecnológico y valor agregado de investigación y desarrollo.
- Optimizar el aporte científico y tecnológico proveniente de las agencias estatales y privadas que movilizan fondos.

- Orientar la investigación básica hacia soluciones tecnológicas y generación de innovaciones incrementales, radicales y hacia cambios tecnológicos competitivos en un ambiente globalizado.
- Optimizar la infraestructura física y su aporte al desarrollo de procesos de investigación e innovación.
- Consolidar la red de CDT's y grupos de investigación y desarrollo que maximicen la innovación.
- Promover la capacitación en investigación y desarrollo en gestión tecnológica.

El PIEM también identificó necesidades de investigación y líneas de acción sectoriales y subsectoriales.

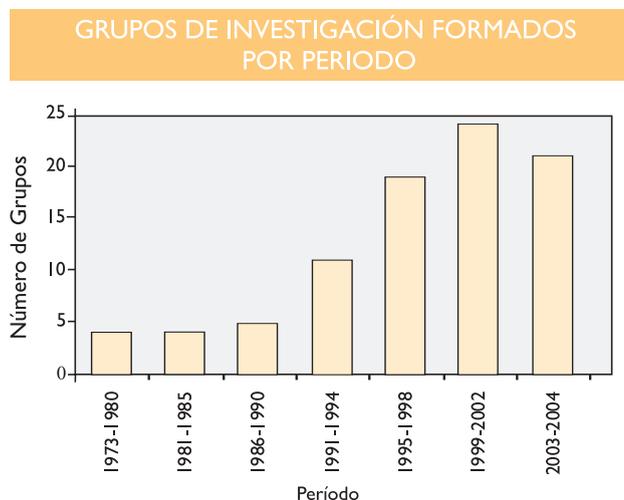
En esta sección se evalúan los logros obtenidos desde 1985 hasta la fecha en materia de investigación y desarrollo para los sectores minero y energético, respecto a los agentes o grupos involucrados y de los proyectos financiados. Existen a la fecha muchas etapas por recorrer antes de que los resultados de estas actividades sean fundamentales para el crecimiento económico y el desarrollo social y para que los sectores económicos y la sociedad exijan y aprovechen toda la capacidad que se ha ido consolidando en el país.

A. AGENTES Y GESTORES DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN LOS SECTORES MINERO Y ENERGÉTICO

I. Ejecutores

De acuerdo con la información disponible a marzo de 2005 en la red Scienti de Colciencias, se identifican 88 grupos de investigación como pertenecientes al Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería con una dinámica de formación creciente como se observa en el Gráfico 17.

GRAFICO 17



Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.

Existen adicionalmente 20 grupos en las áreas de Ciencias Básicas, Biotecnología e Industria que tiene capacidad y experiencia en el desarrollo de proyectos en temas energéticos y mineros.

A partir de 1994 se observa un salto cualitativo con la formación de 19 grupos motivados por el surgimiento de nuevas modalidades de cofinanciación de proyectos con el sector empresarial. En el periodo 1999-2004 el proceso fue mucho más dinámico debido a que se formaron 45 grupos (51% del total), lo cual indica que los grupos adscritos al PIEM se encuentran en etapa de consolidación y que hay una comunidad de investigadores en pleno crecimiento, a lo cual contribuyó, además de la maduración de los mecanismos de financiación y la recuperación de la inversión a partir del 2001, la implantación del proceso de reconocimiento de grupos de investigación por parte de Colciencias.

De la información de las áreas temáticas que registraron los grupos, como se muestra en el Gráfico 18, se observa que el 24% trabaja en uso racional de energía (gestión energética, optimización de procesos, nuevos combustibles), el 22% en temáticas del sector eléctrico (sistemas de potencia, distribución, calidad de la energía, economía energética), y 14% en hidrocarburos (modelamiento de yacimientos, mejoramiento en la recuperación, metrología en gas) lo que se refleja en la presentación de proyectos como se verá más adelante. Aunque en minería hay 11 gru-

pos (13% del total), no se observa una dinámica en la presentación de proyectos a las convocatorias estructuradas desde el PIEM, hecho que se explica en la dificultad que han tenido estos para asegurar la participación del sector productivo a través de mecanismos de cofinanciación; sin embargo, a pesar de contar únicamente con ocho grupos de investigación en carbón (9% del total), se ha logrado una continuidad de investigación y una comunidad consolidada, que encontró en el Fondo Nacional de Investigación en Carbón (FONIC) el mecanismo adecuado para su creación y fortalecimiento.

2. Sector productivo e institucional

Hasta antes de 1995 la participación del sector productivo en el desarrollo de proyectos de investigación había sido marginal, a excepción del sector carbonífero por la existencia del FONIC. A partir de la implantación del Sistema Nacional de Innovación (SNI) en 1995, se desarrollaron nuevos mecanismos de financiación, innovación y desarrollo tecnológico, con el surgimiento de las modalidades de cofinanciación y crédito, como reconocimiento e incentivo al papel primordial del sector productivo en el desarrollo de los proyectos de investigación.

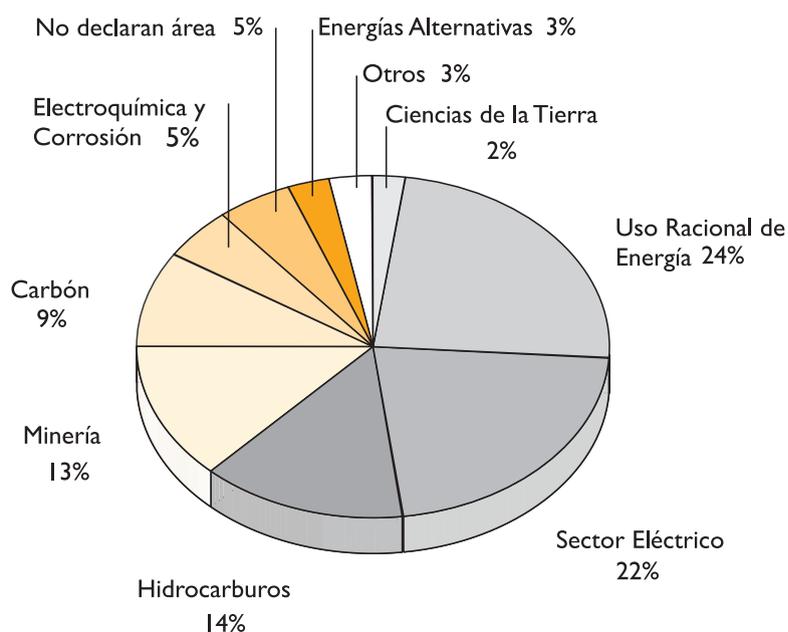
Con la aparición de la modalidad de cofinanciación de proyectos se formaron nuevos grupos y se fortalecieron los existentes, lo cual demostró que la vinculación progresiva con sectores productivos brindó oportunidades para la creación y consolidación de la comunidad académica.

En el sector carbón la investigación contó para su apoyo con un mecanismo innovador que se estructuró en 1985, a partir de la creación del FONIC, el cual se alimentaba con aportes de Colciencias por una parte, y por la otra de la empresa encargada de la administración del recurso carbonífero, que en sus inicios fue Carbocol, luego ECOCARBÓN y finalmente MINERCOL. Dicho mecanismo trabajó hasta el año 2000 y en su decaimiento influyeron, tanto el poco interés de MINERCOL en su tiempo, que consideraba que el tema por ser investigación le correspondía INGEOMINAS, entidad encargada de tales labores, como la difícil situación fiscal de esa entidad luego de 1998, cuyas consecuencias fueron un descenso en la financiación de todos sus proyectos.

Por la misma época del nacimiento del FONIC, Ecopetrol decidió dar un impulso a las actividades de investigación y desarrollo por medio de la creación del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), entidad con

GRAFICO 18

DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS POR ÁREA TEMÁTICA



Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.

una gran infraestructura física y con recurso humano de alto nivel, que concentró exclusivamente hasta el año 2000 la financiación de investigación en el sector. A partir del proceso de reestructuración del ICP en el 2002 se notó un decaimiento en su actividad investigativa y surgió entonces una tendencia a establecer alianzas estratégicas con universidades para desarrollar proyectos de investigación “básica”, debido a que en su nuevo enfoque la actividad se orienta exclusivamente a la misión operativa de Ecopetrol. En los últimos años se destaca el desarrollo de proyectos por otras empresas petroleras tales como la British Petroleum Company (BP), la Meta Petroleum Company, y Hocol, apoyadas en la capacidad de investigación de las universidades y CDT’s.

A partir del año 2000, el sector eléctrico tomó el liderazgo, a través del interés de las grandes empresas del sector (Empresas Públicas de Medellín –EPPM–, Interconexión Eléctrica S.A. –ISA–, CODENSA, Electrocosta, Empresa de Energía del Pacífico S.A. –EPSA– y la Central Hidroeléctrica de Caldas –CHEC–), en cofinanciar proyectos que consultaban necesidades específicas. En el año 2004 como resultado de la estrategia de articulación y conexión entre Colciencias y entidades del sector como ISA, ISAGEN y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (GREG), surgieron convenios de cooperación como mecanismos eficaces con el objeto de unir esfuerzos, tanto técnicos como administrativos y financieros, para la identificación de áreas de investigación y estructuración de convocatorias. Esto permitió un aumento en los proyectos de investigación en el desarrollo del sector eléctrico (alta tensión, sistemas de potencia, distribución, calidad de la energía y economía energética) y en consecuencia una gran dinámica en las universidades a tal punto que hay en la actualidad 19 grupos de investigación, lo cual fortalece la articulación entre los sectores energético y académico.

El sector minero colombiano, a diferencia del energético, no ha contado con una eficiente organización y por lo tanto, al lado de grandes explotaciones bien establecidas (El Cerrejón, Cerromatoso, Mineros Nacionales, etc.) coexisten una gran cantidad de pequeños mineros, sin la disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos y humanos, necesarios para hacer un aprovechamiento racional y eficiente del recurso. Esto se traduce en bajos niveles de aprovechamiento, poca posibilidad de generar valor agregado y contaminación del medio ambiente. Ha sido escasa la participación de empresas del sector en la financiación de

proyectos de investigación con algunas excepciones como el FONIC, Acerías Paz del Río, Cerámica Italia, Minerales Industriales y Precious Metals Group.

B. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE COLCIENCIAS

I. Proyectos de investigación apoyados por Colciencias

Durante el periodo 1991-2004 se financiaron 188 proyectos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico, por un valor de \$32.213 millones en pesos constantes de 2004. La modalidad más dinámica es la cofinanciación, 53% de la financiación de Colciencias, que permite establecer relaciones entre el sector productivo y el académico; en segundo lugar está la recuperación contingente, 36% de los recursos, para proyectos de universidades y CDT’s, y finalmente está la línea de crédito con el 11%. Esta última cifra pone de manifiesto la baja penetración de este mecanismo en unos sectores que como la minería y la energía se caracterizan por tener empresas con importantes niveles de activos.

Es destacable la dinámica del periodo 1995-1997, de hecho, ese último año es el segundo de más alta financiación en el lapso 1991-2004, y cuando se apoyaron más proyectos de cofinanciación, debido a la participación decidida de grandes empresas como Ecopetrol, ECOCARBÓN, Electrificadora de Santander, EEB; y la estructuración de dos proyectos por parte de la Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), en la que participaron tanto usuarios como proveedores de recubrimientos. Cabe resaltar cómo el crecimiento en grupos de investigación que se dio a partir de 1995 se encontró con una situación favorable para la financiación de proyectos en particular en ese periodo.

Como se observa en el Gráfico 19, la complicada disponibilidad de recursos en el periodo 1998-2000 se manifestó en la poca cantidad de proyectos financiados, 20 en tres años, muy poco para los retos que imponía el sector. A partir del 2001 mejoró la disponibilidad de recursos, esto, aunado a un número mayor de grupos de investigación consolidados, así como a la estructuración de convocatorias de proyectos, al-

gunas de ellas con la participación de entidades del sector como MINERCOL, ISA y la GREG, dio como resultado un repunte sorprendente tanto en la financiación otorgada como en el número de proyectos aprobados; se pasó de financiar 7 proyectos en promedio en el periodo 1998-2000, a un promedio de 27 aprobados por año desde el 2001 y con financiamientos cada vez mayores. No obstante, se nota que solo en el 2004 se volvieron a registrar cifras similares a las de 1997 (Cuadro 1).

Se nota con claridad las fases por las que ha pasado el PIEM. Hasta 1995 estuvo dominado por la presentación de proyectos por parte de grupos de investigación en las universidades; luego pasó a la incorporación gradual del sector productivo liderado en gran parte por grandes empresas del sector como Ecopetrol, MINERCOL, ISA, EEPPEM, EPSA, CODENSA, y la Electricidad de Santander S.A. ESSA; hasta llegar finalmente a consolidar esos vínculos específicos a través del mecanismo de convenios interinstitucionales como los que se tienen con ISA, ISAGEN y la GREG, que posibilitan focalizar la investigación en temáticas más concretas y orientadas y que responden más a las necesidades del sector energético.

2. Estrategia de articulación de los componentes del sistema 2001-2005

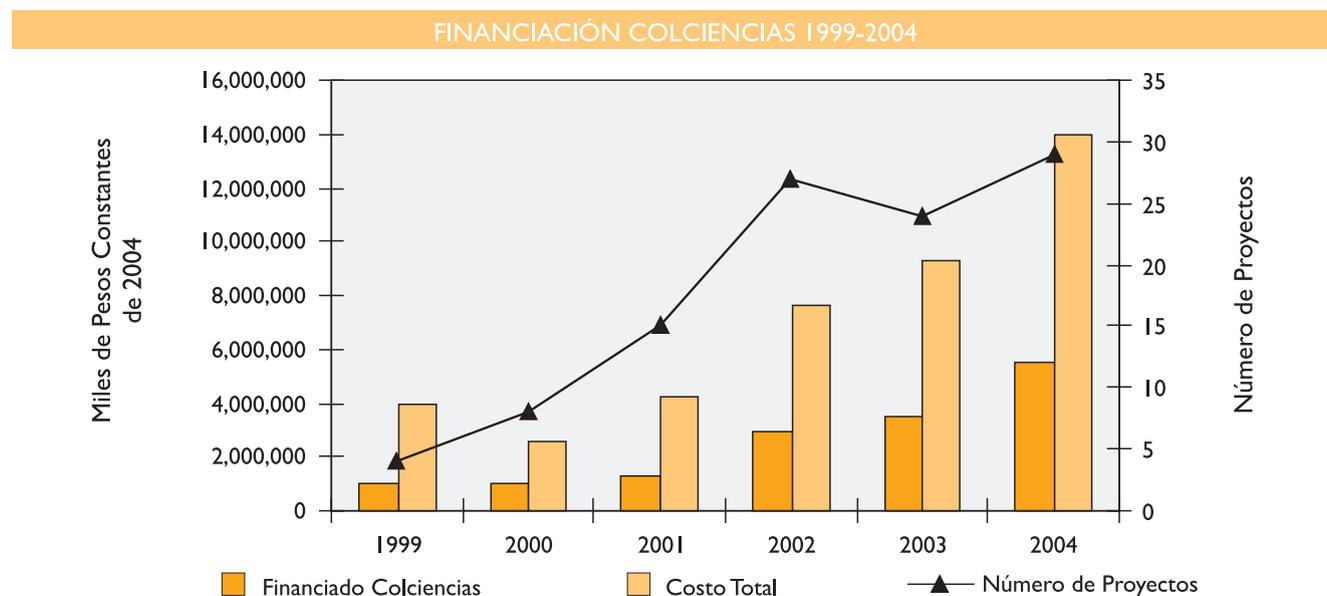
La “Estrategia para el fortalecimiento de la investigación y sostenibilidad del sector energético colombiano” desarrollada en los últimos cuatro años, se

orienta a la articulación del sistema, a la consolidación de visión conjunta, y a lograr un compromiso en la construcción de un futuro energético y minero sustentable mediante las siguientes acciones:

- Difundir y socializar las potencialidades del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, el SNI y los resultados de los proyectos de investigación en las instituciones y en el sector productivo.
- Identificar nuevas fuentes nacionales e internacionales de financiación y cooperación.
- Fortalecer los compromisos de las entidades, empresas y agentes con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología mediante el impulso de los convenios interinstitucionales
- Fortalecer trayectorias de investigación en energía y minería, particularmente en hidrocarburos y carbón, e impulsar la investigación en eficiencia energética.

Gracias a la estrategia de articulación con entidades y empresas del sector eléctrico, particularmente mediante la consolidación de mecanismos de cooperación interinstitucional y difusión de resultados, ha sido posible la creación de nuevos grupos de investigación y de unidades de investigación y desarrollo, con nuevos modelos de gestión tecnológica orientados a la vigilancia, prospectiva y solución de problemas. En esta dinámica han surgido nuevos temas de investigación en los mercados energéticos y de regulación.

GRAFICO 19



Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.

CUADRO I

RELACION DE PROYECTOS POR TIPO DE FINANCIACIÓN PERIODO 1991-2004 (Cifras en miles de pesos constantes de 2004)											
Año	Proyectos aprobados recuperación contingente		Proyectos aprobados cofinanciación		Proyectos aprobados mixtos			Proyectos aprobados reembolso obligatorio		Total proyectos aprobados	
	Monto	No.	Monto	No.	Monto cofinanciación	Monto crédito	#	Monto	No.	Monto	No.
1991	2.353.664	12								2.353.664	12
1992	0	0								0	0
1993	2.920.999	14								2.920.999	14
1994	732.513	7								732.513	7
1995	738.846	6	614.522	1				205.397	1	1.558.765	8
1996	973.275	4	673.614	4				1.649.822	3	3.296.712	11
1997	35.875	1	5.087.076	18				0	0	5.122.951	19
1998	46.112	1	878.139	8				61.482	1	985.732	10
1999	0	0	1.001.137	4				0	0	1.001.137	4
2000	0	0	1.036.687	8				0	0	1.036.687	8
2001	0	0	1.324.039	15				0	0	1.324.039	15
2002	1.100.326	12	1.658.152	13	85.384	14.493	1	53.011	1	2.911.366	27
2003	893.031	10	2,095,476	12				486.850	2	3.475.357	24
2004	1.773.306	9	2,480,683	18	279.884	70.223	1	889.250	1	5.493.346	29
TOTAL	11.567.947	76	16.849.524	101	365.268	84.716	2	3.345.812	9	32.213.267	188

Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.

2. Áreas temáticas apoyadas a través de proyectos Colciencias

El Cuadro 2 muestra cómo se han concentrado los proyectos en las principales áreas temáticas. Es destacable el liderazgo del sector eléctrico que en el periodo 1991-2004, representó el 28,7% del total de proyectos financiados con el 20,1% de los recursos. Fue particularmente importante su dinámica a partir del año 2000, debido al interés de las grandes empresas del sector (EPPM, ISA, CODENSA, Electrocosta, EPSA, CHEC) en cofinanciar proyectos concretos inicialmente. En el año 2004 con la aparición del mecanismo de convocatorias entre Colciencias e ISA y la GREG hubo un interesante aumento de proyectos en la temática eléctrica (alta tensión, sistemas de potencia, distribución, calidad de la energía y economía energética), que movilizaron a las universidades a tal punto que se cuenta en la actualidad con 19 grupos de investigación. En reconocimiento a la importancia adquirida por el área de mercados energéticos y regulación a partir del 2003, se realiza-

ron convocatorias que contemplaban dichos temas: en la actualidad hay seis grupos de investigación que muestran ya unas trayectorias interesantes y de mucha proyección dadas las características del sector energético colombiano y su relación con mercados internacionales.

Por otra parte, es notable la representatividad del sector carbonífero, ya que a pesar del debilitamiento del FONIC a partir de 2000, los 31 proyectos financiados y el 14,3% del total de la financiación demuestran el grado de consolidación que adquirió el mecanismo para fortalecer los grupos de investigación. En particular, se debe destacar la forma integral como se abordó la investigación, ya que en temas como la gasificación, coquización y el beneficio, se trataron desde aspectos básicos hasta la innovación con la puesta en marcha de soluciones a escala industrial. Hoy en día el país cuenta con tecnologías para la fabricación de coque y briquetas y la limpieza y gasificación del carbón. En especial esta última tecnología brinda la oportunidad de utilizar de forma limpia este mineral.

CUADRO 2

FINANCIACIÓN DEL PIEM POR ÁREA TEMÁTICA 1991-2004				
Área	No. Proyectos	%	Miles de pesos de 2004	%
Sector eléctrico	54	28,7	6.472.507	20,1
Carbón	31	16,5	4.606.265	14,3
Hidrocarburos	19	10,1	4.371.690	13,6
Uso racional de energía	19	10,1	4.306.575	13,4
Corrosión	15	8,0	3.453.028	10,7
Energías alternativas	13	6,9	2.631.097	8,2
Minería	18	9,6	2.398.251	7,4
Otros	19	10,1	3.973.854	12,3
Total	188	100	32.213.267	100

Fuente: Estadísticas Colciencias-PIEM

La investigación en el sector hidrocarburos es muy limitada, sí se considera la importancia del recurso en la canasta energética del país. Aunque esta tendencia varió a partir del año 2001, era de esperar un mayor dinamismo en un sector que ya mostraba la difícil situación de disponibilidad del recurso a mediano plazo. Empero, cabe anotar que gran parte de la investigación que realizaba el ICP no se financió con recursos Colciencias, pero en la actual situación de reestructuración de dicho Instituto ya ha habido señales por parte del mismo para establecer alianzas con grupos de investigación en las universidades, dada la focalización que le da Ecopetrol al ICP para brindar soporte a las actividades operativas que le son propias a la empresa. Es importante destacar en el periodo analizado la alianza del ICP con la Universidad Industrial de Santander para estudiar el modelamiento de yacimientos.

Es notorio el incremento en los proyectos en uso racional de energía; se despertó un interés creciente en las universidades por este tema, en particular en el lapso 2002-2004 durante el cual se financiaron la mayoría de los proyectos. Un gran porcentaje de los 22 grupos existentes son incipientes y sin embargo tienen para mostrar realizaciones tan precisas como la organización de la Red en Eficiencia Energética y alrededor de esta la realización del I Congreso Internacional en Uso Racional y Eficiente de la Energía (CIURE) en noviembre de 2004. Se destaca el auge de lo referente a biocombustibles, gasificación de biomasa y optimización de procesos industriales. Esto

indica los énfasis que se deben dar en esta área. Cabe resaltar que los proyectos de crédito aprobados en el 2004 estaban relacionados con proyectos industriales en uso racional de energía.

De igual manera, son notorias las deficiencias en temas de minería y energías alternativas, debido tanto a la baja disponibilidad de empresas mineras interesadas en desarrollar proyectos y la poca disponibilidad de grupos de investigación en energías alternativas, como a lo reducido del grupo de interesados en el sector productivo en desarrollar propuestas.

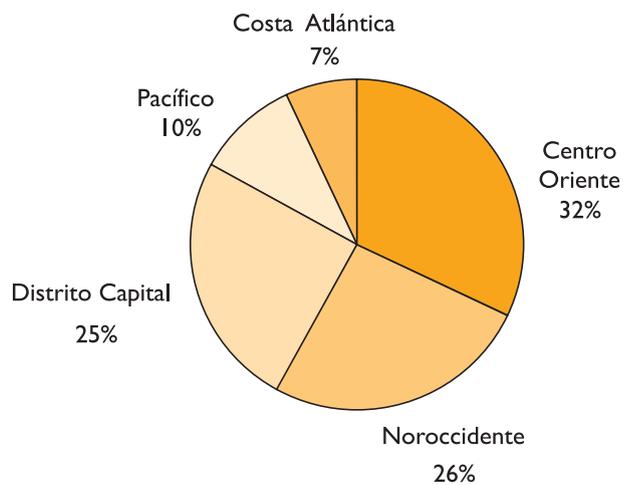
3. Distribución regional de los proyectos financiados y de los grupos

La región de Centro Oriente siempre ha concentrado el mayor esfuerzo investigativo, explicado por la presencia de la Universidad Industrial de Santander que trabaja en la gran mayoría de las temáticas del Programa y por la concentración de CDT's en el área de Guatiguará, a saber: CIC, Corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial (CORASFALTOS), Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, y el Instituto Colombiano de Petróleo (ICP). Esto brinda espacios para alianzas naturales cuyo objeto es el desarrollo de proyectos, en particular en hidrocarburos, lo que explica que en esta región se hayan financiado 70 proyectos (37% del total). Bogotá y Noroccidente representan el 22% y 25% respectivamente.

Respecto al número de grupos de investigación en el país, es posible evidenciar que Centro Oriente tiene la mayor cantidad, seguido por Noroccidente y Bogotá que últimamente han aumentado la cifra lo cual equilibra la distribución. De manera más lenta lo han hecho también las regiones costeras (Gráfico 20).

GRAFICO 20

DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS POR REGIÓN



Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.



CAPÍTULO V

ESCENARIOS FUTUROS POR SECTOR

ESCENARIOS FUTUROS POR SECTOR

Para identificar tanto las problemáticas frente a la investigación, como las fuerzas que en Colombia pueden contribuir a resolverlas en los sectores de minería (carbón y minería sin carbón), hidrocarburos (gas y petróleo), eléctrico y energías alternativas y uso racional y eficiente de la energía, entre el 10 de agosto y el 23 de octubre de 2004 se realizaron talleres prospectivos en las ciudades de Medellín, Bogotá, Sogamoso, Bucaramanga y Cúcuta, con la participación de todos los componentes del Programa Nacional de Investigaciones en Minería y Energía, los investigadores, el Ministerio de Minas y Energía, la UPME, INGEOMINAS y algunos empresarios, asociaciones y gremios.

El Cuadro 3 resume talleres realizados por sector, las ciudades en donde fueron realizados, el número

de asistentes y los resultados de la discusión colectiva estructurada mediante dichos talleres.

Los resultados de esos talleres se soportaron con las respuestas obtenidas mediante dos encuestas realizadas a más de 200 expertos del sector minero-energético y más de diez reuniones de discusión entre Colciencias, el CIDET y los diferentes comités de apoyo temático¹⁵.

A continuación se describe la problemática de cada sector y los ejes que se deben fortalecer en el futuro para llegar a tener condiciones óptimas de productividad.

CUADRO 3

TALLERES PROSPECTIVOS (AGOSTO-OCTUBRE DE 2004)			
Sector	Ciudad	Número de asistentes	Resultados
Eléctrico, energías alternativas y uso racional de la energía	Medellín	27	Problemáticas y escenarios
Carbón	Medellín	23	Problemáticas y escenarios
Metales preciosos	Medellín	19	Problemáticas y escenarios
Hidrocarburos	Bucaramanga	32	Problemáticas y escenarios
Minería y carbón	Sogamoso	38	Problemáticas y escenarios
Minerales industriales	Cúcuta	21	Problemáticas y escenarios
Reunión de expertos	Bogotá	16	Problemáticas y recomendaciones
Taller de socialización y estrategia	Bogotá	46	Estrategias, misión y visión
Total		222	

Fuente: Estadísticas Colciencias- PIEM.

¹⁵ El detalle de los resultados de los talleres y las encuestas puede ser consultado en el reporte de informe general del proyecto entregado a Colciencias.

A. PROBLEMÁTICAS SECTORIALES Y DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

I. Minería

a. Problemática

La minería nacional se caracteriza por su especificidad regional, escaso desarrollo e incorporación de conocimiento, poca organización y baja capacidad para atraer capital tanto extranjero como local.

Esta especificidad pone la responsabilidad del desarrollo y organización minera en agentes locales (autoridades y productores). A pesar de la existencia de una autoridad minera central, no se observa una adecuada comunicación y apoyo a las regiones para que estas desarrollen sus propias capacidades. El nivel de conocimiento sobre el potencial de recursos de las regiones no es adecuado, esto impide la creación de nuevas oportunidades y mercado. Si bien la producción de información sobre reservas es importante para atraer el capital privado, también lo es la capacidad de las gobernaciones y autoridades municipales para apoyar y facilitar la ejecución de los proyectos de explotación y utilización. Es importante una descentralización tutelada que potencie el papel de la región en su desarrollo minero.

El grado de informalidad de la minería y su escasa asociatividad no crean un campo fértil para encadenamientos productivos y la generación de valor mediante la transformación de los recursos primarios. Sin suficientes excedentes es imposible tecnificar los procesos y financiar la actividad investigativa. Esta situación dificulta además la incorporación de personal calificado. El destino de las regalías no ha compensado la agotabilidad de estos recursos perdiéndose la oportunidad de forjar un activo de capital y conocimiento.

Ni la investigación ni los recursos de regalías han aportado en forma efectiva a mantener la integridad de los ecosistemas. No es conocido en forma precisa el impacto ambiental de la actividad minera, situación que se convierte en una amenaza para el sector en una época en que la preservación del medio ambiente toma una relevancia cada vez mayor.

El Código de Minas es un paso adelante en la definición de responsabilidades y la organización del sector, y con él se espera atraer inversión acorde con la disponibilidad de recursos y reservas de cada región.

Resumen de la problemática: La falta de un desarrollo científico y tecnológico para el sector minero es expresión de la carencia de una estructura fuerte; este se encuentra en una fase con condiciones de desempeño muy anteriores a las de una sociedad de conocimiento. Es indispensable entonces, un proceso de organización y/o asociación que propicie generación de valor mediante encadenamientos productivos.

b. Ejes seleccionados o fuerzas de futuro de acuerdo con la problemática planteada

Conocimiento: Este eje implica conocer las reservas mineras, las tecnologías de explotación más idóneas, el adecuado manejo del impacto ambiental, la disponibilidad de fuentes de financiación y las oportunidades de mercado. Un buen conocimiento conduce a una minería organizada, tecnificada, competitiva e inserta en el mercado internacional. Un escaso conocimiento es sinónimo de la situación actual.

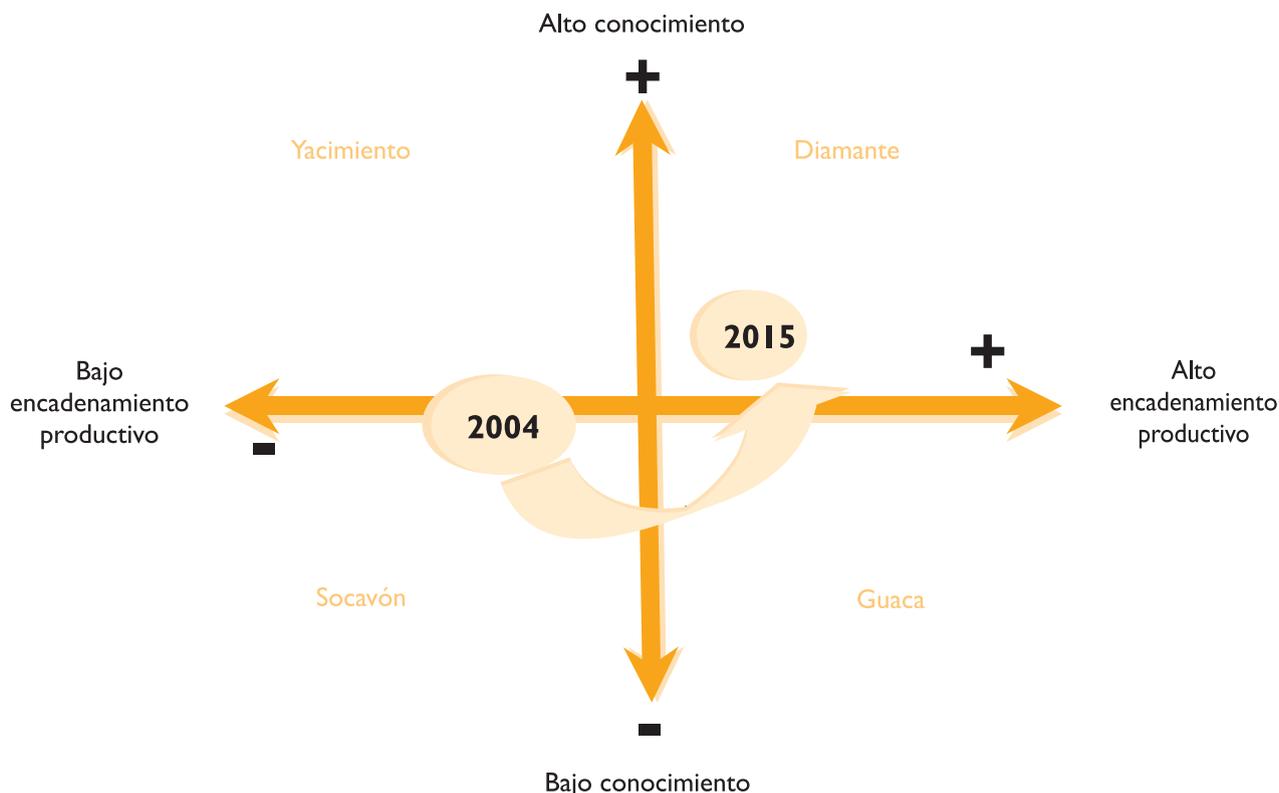
Encadenamiento productivo: Este eje implica una sinergia entre las diferentes etapas de la actividad productiva, que llevan a generar valor agregado.

2. Carbón

a. Problemática

Este sector se caracteriza por tener dos tipologías. Una minería intensiva, tecnificada, dedicada a la exportación y en manos del capital extranjero. Y otra atrasada tecnológicamente, con baja incorporación de valor agregado en la cadena, destinada al mercado nacional. Prolifera la minería desorganizada y sin control; la asociatividad es un esquema de trabajo poco valorado culturalmente. La importancia de este recurso en el ámbito nacional ha sido más como generador de divisas que como insumo para la producción de energía o de productos elaborados.

La investigación, que tuvo un buen impulso y continuidad gracias al apoyo del FONIC, no logró los resultados de productividad obtenidos en el plano académico; los resultados de las investigaciones no han alcanzado las etapas de demostración y difusión, en



parte por los vaivenes de la institucionalidad minera y específicamente en lo relacionado con el sector carbonífero. Hay falencias en la formación de recurso humano desde el nivel técnico. Preocupa la poca claridad sobre la continuidad de un mecanismo como el FONIC.

En los ámbitos nacional e internacional, contrasta la importancia del carbón como energético para la generación eléctrica y la producción de vapor y calor, con el estigma de ser un recurso contaminante. Esto ha impulsado el desarrollo de las denominadas *clean coal technologies*.

Los esfuerzos de investigación y desarrollo efectuados en el pasado en nuestro país no han impactado adecuadamente nuestro sistema tecnológico y de conocimiento, por una parte debido a la estructura del sector productivo, caracterizado por su artesanidad y atomización, y por otra a la estructura del sector que consume el mineral, de un tamaño relativamente pequeño, que no le permite destinar recursos con ese propósito. Estas dos situaciones configuran un sector débil, con dificultades para aprovechar

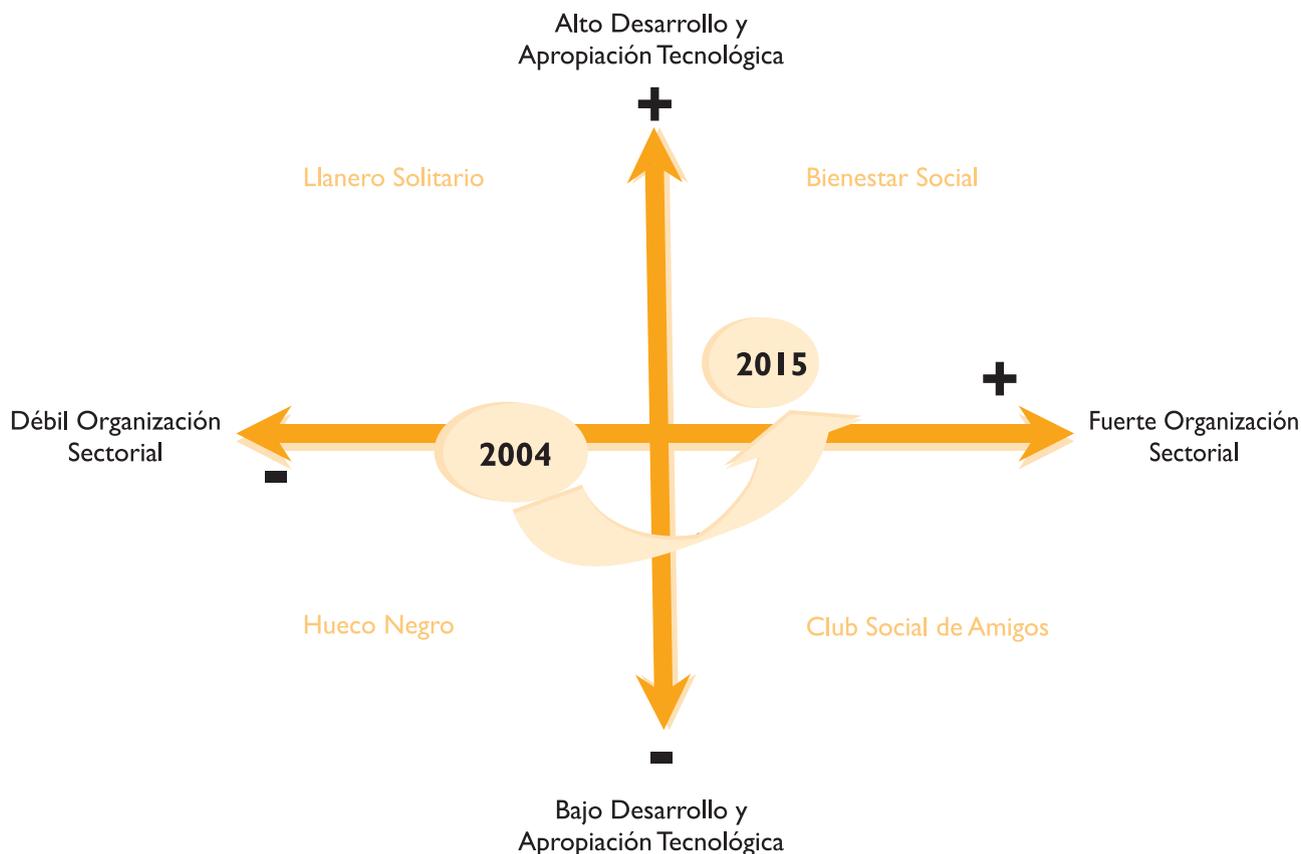
oportunidades externas de mercado, o para darle valor agregado, como por ejemplo, a través de la carboquímica.

Resumen de la problemática: Poca incorporación del conocimiento y tecnología, falta de mecanismos de asociatividad que le den relevancia y capacidad de negociación al sector, una débil autoridad minera que resulta en una pobre interacción entre agentes, generando una ausencia de visión estratégica del recurso.

b. Ejes seleccionados o fuerzas de futuro de acuerdo con la problemática planteada

Desarrollo y apropiación del conocimiento y tecnología: Este eje implica una continuidad en la financiación, promoción y desarrollo de las actividades científicas y tecnológicas, considerando las etapas de demostración y difusión. Un buen desarrollo implica sostener una institucionalidad comprometida y articulada que fortalezca trayectorias acumuladas por el FONIC y promueva la investigación a lo largo de la

SITUACIÓN ACTUAL (2004) Y POSIBILIDADES FUTURAS (2015)



cadena productiva con gran énfasis en la demostración y difusión. Un escaso desarrollo significa mermar y perder los logros del pasado.

Organización del sector: Este eje representa el nivel de integración y coordinación de los componentes del sector carbón. Una excelente organización significa autoridad minera clara, esquemas de asociatividad que lleven a un cambio de la visión tradicional de la minería. Una deficiente organización es seguir con la problemática actual.

3. Hidrocarburos

a. Problemática:

El sector de hidrocarburos se caracteriza por grandes requerimientos de capital. En Colombia, como en muchos países, los principales componentes son las empresas petroleras extranjeras. El papel de Ecopetrol se concentra principalmente en la administración del negocio, en lograr condiciones favorables que

atraigan la inversión extranjera y en encontrar términos contractuales que la reglamenten. Esta empresa se ha caracterizado por su inercia y resistencia al cambio. Predomina la visión centrada hacia lo interno del negocio, que impide generar nuevas oportunidades en la transformación del recurso y en el área de combustibles alternos.

El petróleo en nuestro país, además de usarse como energético, ha sido la principal fuente de divisas. A pesar de ello, el excedente de esta actividad no ha favorecido a la población colombiana más allá del beneficio de una balanza comercial sana. Los contratos no contemplaron cláusulas de transferencia de tecnología, las regalías no llevaron desarrollos productivos y sostenidos a las regiones y la extracción de este recurso no creó un ahorro para futuras generaciones.

El ICP se constituyó en el principal esfuerzo en investigación y desarrollo, más como una voluntad de Ecopetrol que como resultado de una estrategia clara y coherente de desarrollo de tecnología y generación de conocimiento. El producto de las actividades de

este Instituto tenía un beneficiario claro que era la misma empresa. Sin embargo ésta, al centrar su visión en ser coparticipe en contratos de asociación con compañías extranjeras, dueñas de una base tecnológica muy fuerte y avanzada, no apropió adecuadamente los resultados de los trabajos y esfuerzos del ICP.

Con el cambio en la estructura y las reglas de juego, al crearse la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y reorientar el papel de la estatal petrolera, es de esperarse que esta utilice en mayor medida los resultados de las investigaciones como un medio para aumentar su competitividad. El estrecho vínculo entre Ecopetrol y el ICP podría limitar el papel de este último en el apoyo y conformación de redes de investigación y desarrollo en el sector nacional. Este apoyo es fundamental teniendo en cuenta el alto costo del equipamiento requerido para esta actividad y el escaso desarrollo en las universidades.

Existe un alto potencial de investigación y desarrollo en el tema de combustibles alternos y complementarios, así como en el manejo de demanda en el sector transporte, caracterizado en el país por unos bajos

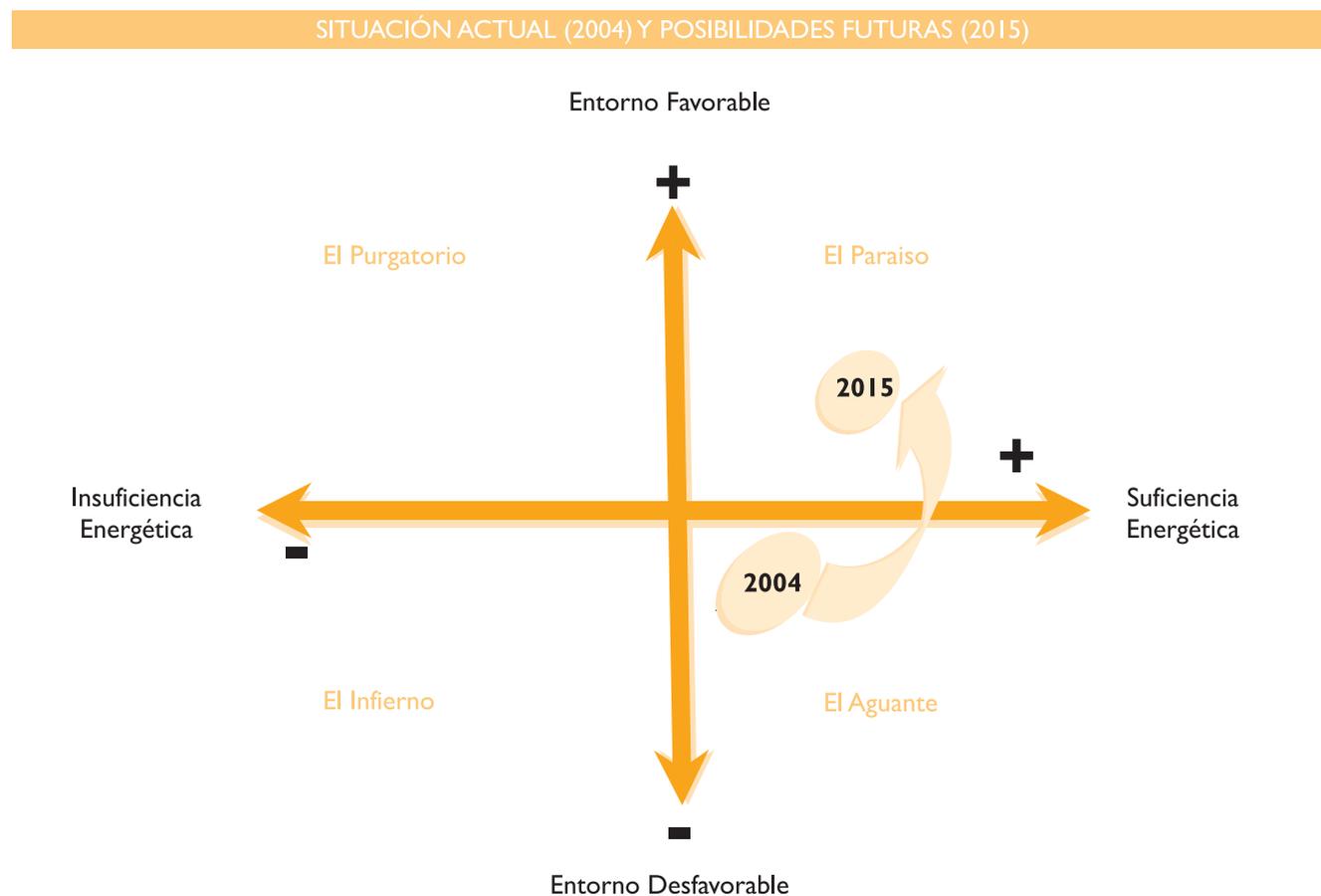
niveles de desempeño. Un aspecto fundamental tanto para Ecopetrol y el ICP como para el país en general, es el cambio previsto en un mediano plazo en la estructura de la oferta energética. Las preocupaciones ambientales y el alto precio del petróleo están acelerando los desarrollos tecnológicos de nuevas fuentes en el mundo.

Resumen de la problemática: falta de una política de desarrollo coherente en aspectos tales como la importancia del sector hidrocarburos para el país y los riesgos de una insuficiencia energética; el papel de la ciencia y la tecnología y la responsabilidad de ICP para apoyar el desarrollo de los sectores productivo y académico; la neutralización de las amenazas latentes y el aprovechamiento de las oportunidades en el futuro cercano en nuevas áreas del negocio.

b. Ejes seleccionados o fuerzas de futuro de acuerdo con la problemática planteada

Entorno favorable / desfavorable: Este eje representa el grado de aprovechamiento de la capacidad de investigación y desarrollo del sector (ICP-academia).

GRAFICO 23. HIDROCARBUROS



Un entorno favorable implica la incorporación de estos procesos a la actividad productiva, una adecuada visión de las amenazas y oportunidades futuras e innovación en combustibles alternos y diversificación de la oferta, así como estabilidad en las reglas del juego. Un entorno desfavorable se caracteriza por un limitado papel del ICP, una visión de muy corto plazo y vaivenes normativos y regulatorios.

Suficiencia energética: Como su nombre lo indica este eje considera la importancia de que la oferta energética del país se base principalmente en recursos internos dado el nivel de reservas disponibles, en su parte positiva, o en la dependencia de energéticos importados, en su parte negativa. La suficiencia abarca más que el recurso petrolero.

4. Sector eléctrico

a. Problemática

El sector eléctrico colombiano se caracterizó en la década de los noventa, por un descenso en la actividad de investigación y producción nacional, ocasionado por una serie de factores tales como el proceso de incorporación de capital privado, en su mayoría extranjero, y un descenso en la actividad económica, principalmente por la agudización del conflicto social. Esto, unido a la habitual baja apropiación del desarrollo investigativo por parte del sector productivo, hace que no exista un empresariado en disponibilidad de utilizar las capacidades investigativas y técnicas locales.

Esta situación resulta en una pérdida de capital humano técnico (“fuga de cerebros”), que no encuentra un campo propicio para desarrollar sus capacidades. De perpetuarse esta tendencia, el país podría verse enfrentado a una pérdida significativa del capital tecnológico alcanzado en la época cuando el Estado actuaba como promotor y productor. La dinámica mostrada en ese entonces y los hechos recientes (firmas de convenios de investigación y desarrollo) permitirían pensar que esta tendencia podría revertirse gracias a la presión generada por los mecanismos de mercado introducidos, que forzarían aumentos en la eficiencia y productividad de las empresas. Un escenario en donde todos los recursos de ingeniería e investigación y desarrollo provengan del exterior no sería sostenible con este esquema.

Además de las dificultades mencionadas, existe una que es extremadamente importante para la incorporación de los sistemas tecnológicos a nuestra sociedad: la falta de convergencia entre los intereses de la industria y la academia en materia de investigación y desarrollo. La industria colombiana es muy pequeña, con visión de muy corto plazo y alta resistencia al cambio. En los casos donde existen industrias de algún tamaño y complejidad tecnológica, estas son subsidiarias de una casa matriz extranjera que ya cuenta con su propio sistema de conocimiento, investigación y generación de tecnología. Por otro lado, no hay una cultura académica comprometida con los intereses nacionales. Las líneas investigativas obedecen generalmente a intereses académicos per se, enfocados principalmente hacia la consecución de una posición frente a la comunidad académica internacional. Esta característica se torna positiva en lo que respecta a fortalecimiento docente, pero genera un divorcio con las necesidades tecnológicas de nuestra sociedad. Las dos partes no encuentran espacios propicios y sólidos para un quehacer productivo.

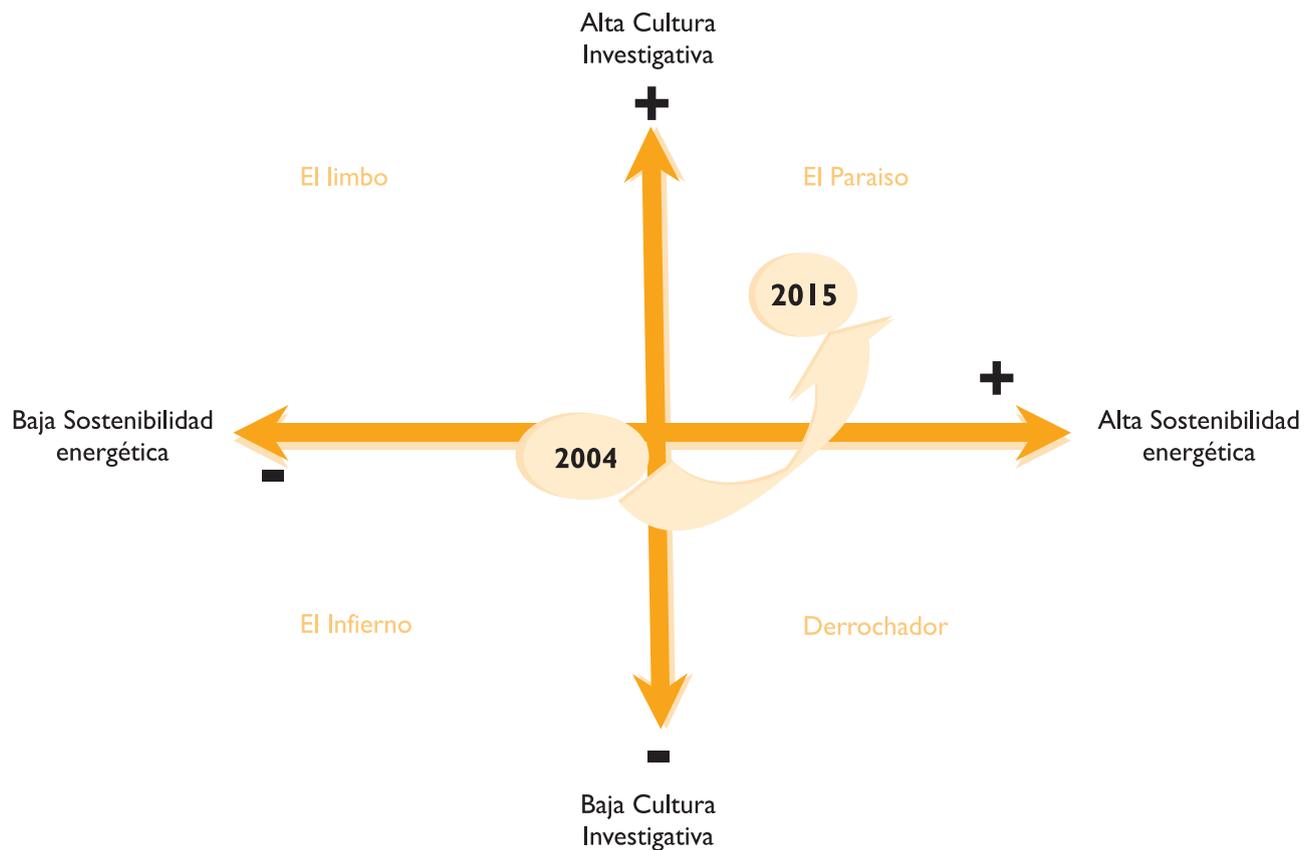
Teniendo en cuenta que los períodos de desarrollo de una tecnología hasta lograr su incorporación en los sistemas productivos toman considerables lapsos de tiempo, se requiere de estabilidad y continuidad en los programas de investigación, con el fin de lograr acumular conocimiento y experiencia en las ramas específicas escogidas como prioritarias. Además, el pequeño tamaño de la industria colombiana hace necesario que el Estado se comprometa con recursos económicos suficientes y en forma sostenida, no solo durante los periodos de desarrollo mencionados, sino hasta llegar a las etapas de demostración y difusión.

Resumen de la problemática: La presencia de capital privado extranjero y el tamaño de la industria demandan una presencia fuerte del Estado para sostener la capacidad desarrollada en el pasado, hasta cuando las empresas apropien esta capacidad y colaboren en su crecimiento. El área investigativa se ha aislado de los intereses del sector, concentrándose en la generación de conocimiento.

b. Ejes seleccionados o fuerzas de futuro de acuerdo con la problemática planteada

Cultura de la investigación: Agrupa las problemáticas de formación de doctores e investigadores. También cubre en general la expansión del conocimiento alrededor de la imagen de los investigadores, de la investi-

SITUACIÓN ACTUAL (2004) Y POSIBILIDADES FUTURAS (2015)



gación misma y su función social y sectorial en el desarrollo de las oportunidades de bienestar. Una buena cultura de la investigación se expresaría en una sinergia adecuada entre los agentes relevantes, disponibilidad de fondos tanto estatales como privados, mayor incorporación tecnológica en la industria, aumento en la credibilidad del sector privado en el proceso de desarrollo tecnológico y un sector académico e investigativo orientado hacia el desarrollo del país. Una escasa cultura implicaría una situación de baja sinergia, insuficiencia de recursos, tendencia a centrarse en el corto plazo y poca o ninguna apropiación tecnológica por parte de la industria.

Sostenibilidad energética competitiva: Este eje es de tipo sectorial y se refiere a la utilización de fuentes, capacidades y demandas energéticas. Una situación de excelente sostenibilidad se describiría como aquella donde los mecanismos de mercado funcionan adecuadamente, los precios tienden a los valores de eficiencia de largo plazo y se involucran y tienen en cuenta los efectos ambientales resultantes del proceso de

desarrollo; todo esto en búsqueda de una mejora en el bienestar de la población. En el otro extremo del eje, una escasa sostenibilidad implicaría una situación donde los precios no son eficientes, existe una excesiva regulación y control, los costos de transacción son altos, y en consecuencia el sistema energético deteriora sus parámetros de calidad y prestación.

5. Energías alternativas y uso racional y eficiente de la energía

a. Problemática

El uso racional de energía ha pasado por diversas fases en nuestro país. La primera, que podríamos ubicar en la década de 1975 a 1985, surge como eco a los movimientos internacionales originados en la crisis de los precios del petróleo. En esta época se formaron algunos grupos de investigación en las universidades, que desarrollaron prototipos de equipos de produc-

ción de energía con fuentes no convencionales, mejoras en equipos de uso final, cartillas para auditorías en el sector industrial y programas de divulgación y educación.

Los años siguientes fueron testigos de una pérdida de esta dinámica, originada por la estabilización de los precios del petróleo. Solo las industrias energo-intensivas continuaron con programas de eficiencia energética. Durante este periodo se creó una cierta institucionalidad encaminada al uso racional de la energía, la cual no tuvo la efectividad e impacto esperados. Al comienzo de la década de los noventa se realizaron programas impulsados por las entidades financieras internacionales en toda América Latina, como el 'Estudio de eficiencia energética en los sectores residencial comercial y oficial' (Programa ESMAP) y el Programa de Cooperación Técnica Europa Colombia Energía EURCOLERG para la formulación de opciones de política energética y estrategias en ese campo.

El Plan Nacional de Uso Racional de Energía (PLAN-URE) desarrollado por el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas de la República de Colombia (INEA) y el documento CONPES 2801 de 1995 recogen los planes, proyectos y estrategias de los estudios mencionados anteriormente y definen la directriz política en eficiencia y uso racional de la energía, la cual se refleja en el PEN 1997-2010.

A partir de la reestructuración del sector energético vino una etapa caracterizada por la prevalencia de los mecanismos de mercado como elemento promotor de la eficiencia energética. En este entorno se confió en que una estructura eficiente de precios conduciría a una asignación óptima de los recursos, demarcando también las preferencias del usuario final. Simultáneamente se dio el plan de masificación de gas como política de Estado, que pretendía ofrecer un sustituto a la energía eléctrica en todos los sectores de consumo, y al cocinol en el sector residencial. Un crédito del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para la creación de un mercado de uso racional de la energía en el país no logró impactar significativamente en el levantamiento de barreras e identificación de incentivos.

Hoy en día se prevé una nueva dinámica en estas materias, originada en las preocupaciones mundiales por el cambio climático, y más recientemente, por la escalada en los precios del petróleo y la inserción a mercados globales con la firma de tratados comerciales. En el país se viene configurando un marco norma-

tivo para crear las condiciones propicias que generen una cultura de eficiencia, sostenibilidad y productividad.

En lo que respecta a la investigación, esta se ha limitado a iniciativas aisladas por parte de los grupos sobrevivientes de las dos primeras épocas, a causa de la ausencia de orientación en este campo, y a la poca coherencia en las señales por parte del Estado. Sin embargo, ha habido formación de recurso humano, a partir del cual se ha configurado una red de investigación en eficiencia energética. Es crónica en este campo la poca definición de responsabilidades entre los involucrados.

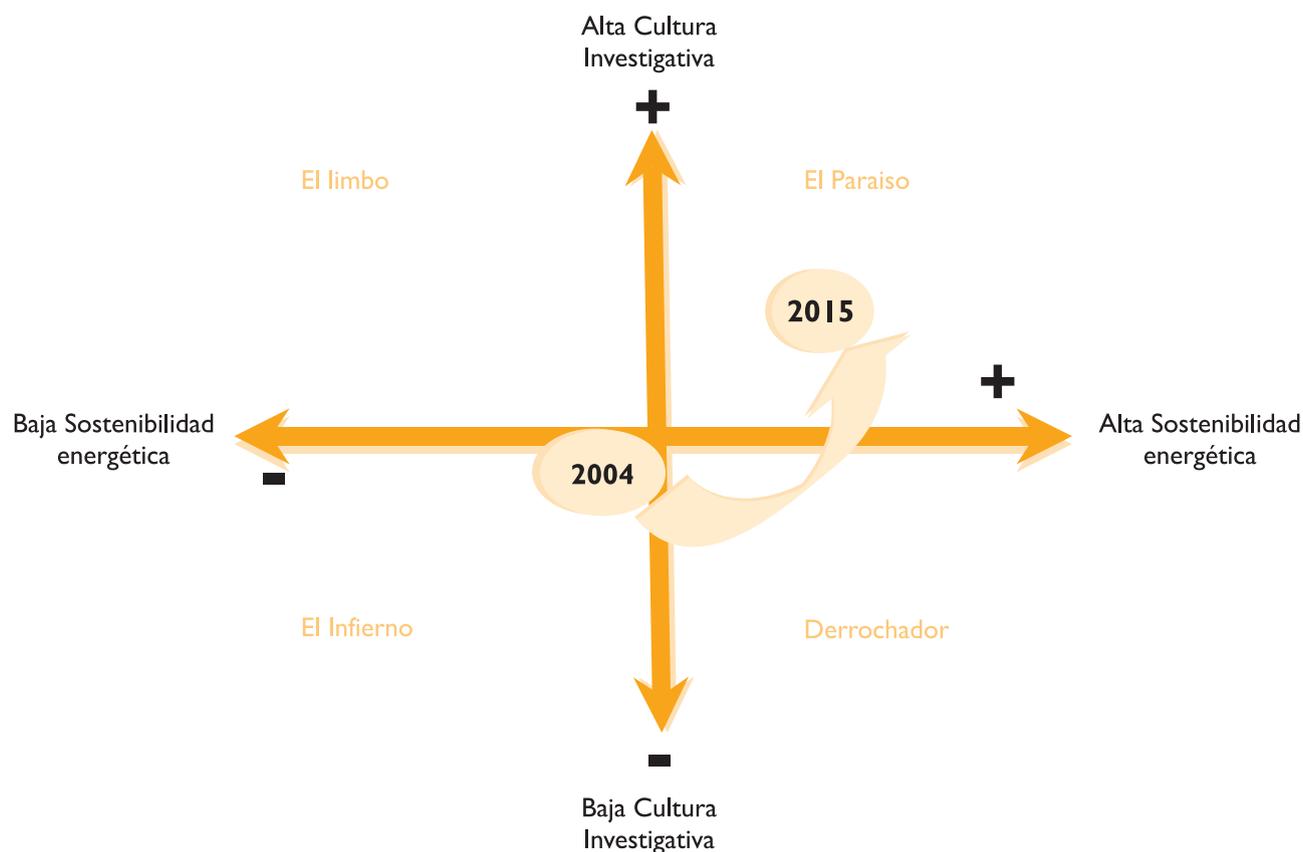
Resumen de la problemática: Existencia de muchas barreras. Escasa apropiación por parte de la industria. Problemas regulatorios e institucionales. Falta de cultura de eficiencia energética. Poca definición de responsabilidades entre los involucrados.

Ejes seleccionados o fuerzas de futuro de acuerdo con la problemática planteada

Institucionalidad de la investigación y el desarrollo: A pesar de que han existido esfuerzos aislados en materia de uso racional de la energía, es indispensable que este concepto se incorpore en las actividades de todos los agentes sectoriales y de consumo final, esto es, que haya una cultura y un mercado alrededor de esta política. Una excelente institucionalidad significa que las empresas, la academia y el Estado, interactúan en forma adecuada con unas reglas de juego claras y estables, y se generan los incentivos necesarios. Lo contrario significa que solo empresas energo-intensivas van a hacer esfuerzos de eficiencia, que las universidades van a seguir realizando proyectos que no impactan la balanza energética y que el Estado va a seguir hablando del tema sin realizar las acciones para remover las barreras con miras a la creación de un mercado para ello.

Sostenibilidad en el desarrollo (energía, ambiente, tecnología): Este eje involucra todos los aspectos necesarios para tal fin y su interacción. Esto significa una correcta relación entre los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, que propenden por un aumento general en la eficiencia, interiorización de las externalidades, participación e igualdad de oportunidades e integridad de los ecosistemas. Lo contrario implica pocas condiciones para un desarrollo armónico a largo plazo.

SITUACIÓN ACTUAL (2004) Y POSIBILIDADES FUTURAS (2015)



B. PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO

Con el fin de generar elementos que permitan plantear los lineamientos de una estrategia coherente de Investigación y Desarrollo para el sector minero-energético, se realiza una síntesis y consolidación de los escenarios adelantados para cada uno de los subsectores, mostrados en el numeral anterior.

Los ejes Y, como pudo verse, agrupan problemáticas relativas al sistema de investigación y desarrollo:

- Conocimiento
- Desarrollo y apropiación del conocimiento y tecnología
- Entorno favorable o desfavorable
- Cultura de la investigación
- Institucionalidad

Los ejes X agrupan las problemáticas sectoriales:

- Encadenamiento productivo
- Organización del sector
- Suficiencia energética
- Sostenibilidad energética competitiva
- Sostenibilidad del desarrollo

El primer eje se puede expresar como articulación y gestión del sistema de conocimiento y tecnología:

Según Garvin (1998), a través de la gestión del conocimiento se obtienen y comparten bienes intelectuales, con el objetivo de conseguir resultados óptimos en términos de productividad y capacidad de innovación de las organizaciones. Es un proceso que comprende generar, recolectar, asimilar y aprovechar el conocimiento, con miras a constituir una sociedad y unas empresas más inteligentes y competitivas. La integración productiva empresa-universidad-estado, adapta una antigua idea, expresada a través del llamado “triángulo de Sábato”. El modelo del triángulo postula

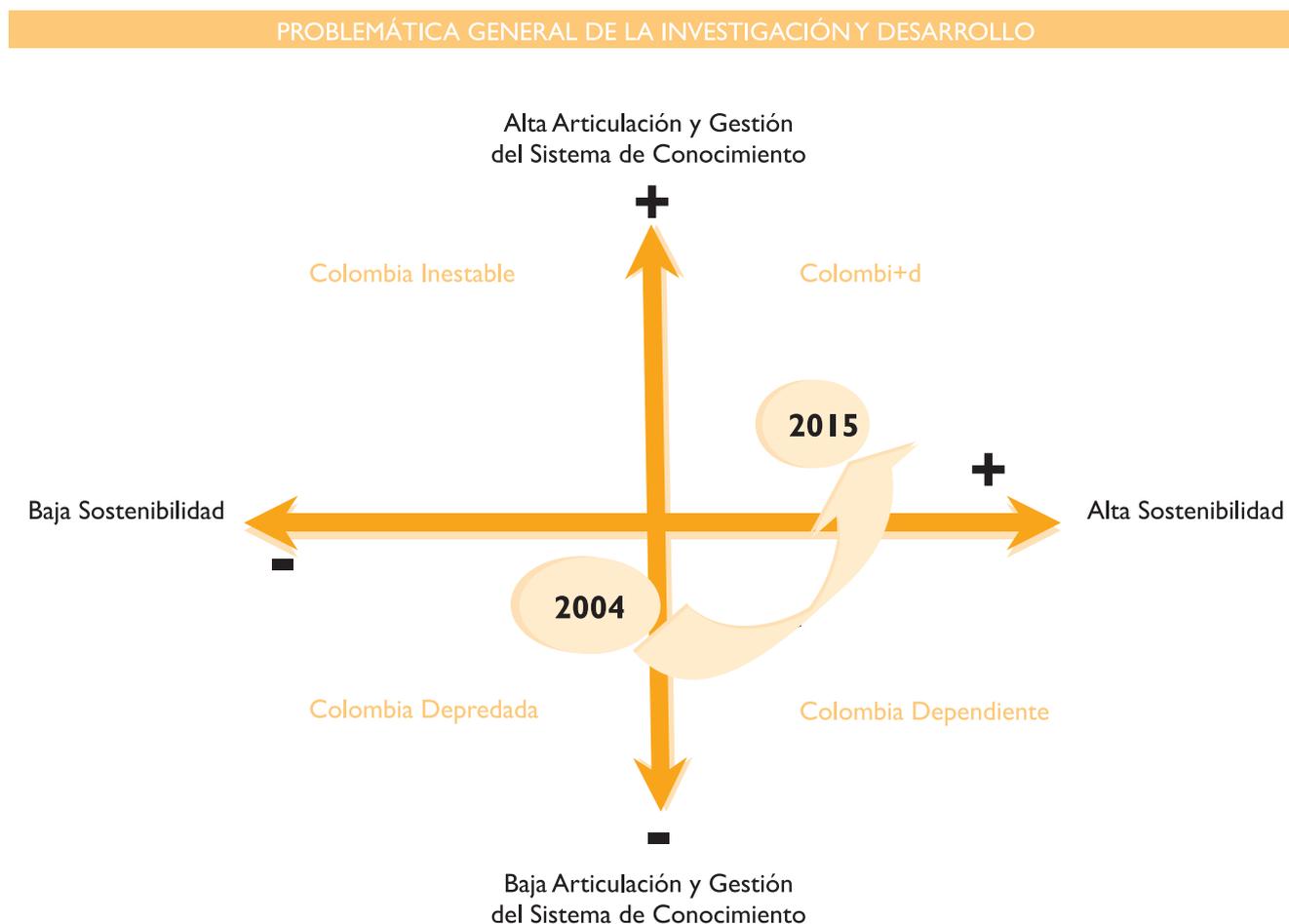
que para que exista en realidad un sistema científico-tecnológico, es necesario que el gobierno, como diseñador y ejecutor de la política científica y tecnológica y como oferente de tecnología, y el sector productivo como demandante de ella, estén fuerte y permanentemente relacionados. Estas son las interrelaciones del triángulo. Los nuevos modelos de desarrollo exigen que estos tres componentes se interrelacionen de manera productiva.

El segundo eje agrupa ejes sectoriales que resumen las problemáticas de productividad, oportunidades de mercado, encadenamiento productivo, organización sectorial, suficiencia energética y desarrollo sostenible para lo cual se propone el eje de “desarrollo sostenible”, entendido este como una coevolución de los sistemas tecnológicos, económicos, sociales y ambientales. Según Noorgard (1997), los procesos de desarrollo se generan a través de una interacción entre agentes y sistemas, los cuales coevolucionan en el tiempo en forma probabilística y no de una manera determinística regida por relaciones de causa y efecto.

El primer escenario combina una alta articulación y gestión del conocimiento con una alta sostenibilidad es decir, una Colombia desarrollada, que ha superado las problemáticas de productividad, encadenamiento productivo y suficiencia energética, con una adecuada utilización de recursos, bajo impacto ambiental y generación de oportunidades de mercado, en un ambiente de políticas públicas e integración con el sector productivo y académico que favorece la conformación de una sociedad de conocimiento.

El segundo escenario esta representado por una baja articulación y gestión del conocimiento y por una alta sostenibilidad, descrito como una Colombia dependiente. El país mejora en aspectos económicos, pero no logra una adecuada incorporación del conocimiento, el cual proviene principalmente de las compañías extranjeras. Los procesos de desarrollo y la suficiencia energética se logran a través de mecanismos de mercado, pero la poca adecuada institucionalidad no permite que se genere un sistema de investigación y desarrollo coherente y acorde con

GRAFICO 26



las necesidades del país. La situación puede llevar a una fuga de cerebros.

El tercer escenario, se representa con el nombre de Colombia inestable, y se caracteriza por una alta articulación y gestión del conocimiento combinados con una baja sostenibilidad. Se logran avances significativos en innovación, investigación y desarrollo pero en forma de proyectos y programas aislados e individuales. La escasa sostenibilidad no permite producir un volumen apreciable de investigadores que generen conocimiento apropiable. La comunidad científica local se concentra en una producción de conocimiento guiada más por las necesidades internacionales y por la obtención de buena posición dentro de la misma, más que por las necesidades propias del país. Esto igualmente da pie a una solución muy parcial de la problemática, lo que dificulta principalmente la inserción competitiva en la globalización.

El cuarto escenario es definido como Colombia depredada, determinada por una escasa articulación y gestión del conocimiento y poca sostenibilidad económica, social y ambiental. El proceso productivo se enfoca en resolver necesidades de corto plazo, con pequeña o nula preocupación por la sostenibilidad en el tiempo, generando una fuerte pérdida de recursos y mermando las posibilidades de desarrollo a las generaciones futuras. La producción de materias primas

prevalece sobre aquella de valor agregado para el país. Las redes de investigación pierden preponderancia en la actividad académica, esto conlleva estancamiento y hasta retroceso en la solución de las problemáticas.

En los talleres los expertos definieron tres preguntas sobre los escenarios:

- ¿Dónde estamos hoy?
- ¿Dónde podríamos estar en el 2015?
- ¿Qué hacer para lograrlo?

En la figura de la cruz de escenarios, la situación de Colombia en el 2004 se ubica hacia la esquina de la Colombia depredada. La apuesta es a la de una Colombia desarrollada a la cual deberíamos llegar hacia el año 2015, pasando probablemente por una situación como la descrita en el escenario de Colombia dependiente. El desarrollo de políticas públicas de largo aliento, en forma coherente y pertinente con las necesidades del sector minero-energético, combinadas con un avance importante en innovación e investigación mediante la gestión del conocimiento en conglomerados productivos, permitiría el desplazamiento en el periodo planteado.

El qué hacer para lograrlo es una propuesta para discusión y articulación de esfuerzos y compromisos que se presenta en el próximo capítulo.





CAPÍTULO VI

PROPUESTA DE PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA Y MINERÍA

PROPUESTA DE PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA Y MINERÍA

Como resultado del proceso de los talleres de análisis de escenarios y la síntesis y chequeos de coherencia, se ha llegado a una propuesta de plan estratégico para el PIEM para ser consultada con la comunidad científica, el sector productivo, las organizaciones estatales y demás componentes relevantes. Se pretende generar un proceso dinámico que tendrá seguimiento y ajuste permanente.

A. VISION, MISIÓN, OBJETIVOS, Y COMPONENTES

1. Visión

Contribuir al desarrollo nacional y al crecimiento económico mediante un manejo y utilización sostenible de los tradicionales recursos nacionales energéticos y minerales, la incorporación de nuevas fuentes y tecnologías más limpias en todas las etapas de las cadenas energética y minera, y la generación de valor agregado y posibilidades de desarrollo; al tiempo que se fomenta una cultura de investigación que lleve a una sociedad de conocimiento en el país.

2. Misión

Articular los diferentes agentes y grupos, identificar los incentivos y estímulos y gestionar los recursos y medios necesarios para el logro de los objetivos trazados en este plan.

3. Objetivos generales

- Incrementar la productividad y eficiencia en la producción y utilización de los recursos energéticos y mineros nacionales e importados y maximizar la generación de valor.
- Ampliar y consolidar los mercados energéticos y mineros nacionales e internacionales con adecuados niveles de calidad.
- Lograr una mayor suficiencia energética y niveles de disponibilidad del servicio en todas las regiones y segmentos de la población, mediante el desarrollo de fuentes y tecnologías adecuadas que hagan parte de cadenas productivas.
- Desarrollar mejores prácticas de utilización de la energía, nuevas fuentes y tecnologías más limpias y eficientes que reduzcan los impactos negativos contra el medio ambiente y que permitan el acceso a la energía de todos los sectores de la sociedad.
- Favorecer la integración energética latinoamericana y la formación de redes de investigación.
- Continuar con el proceso de apoyo a la formación de recurso humano, consolidar los grupos de investigación y las redes, al tiempo que se garantiza una ampliación y continuidad del financiamiento y la evaluación y difusión de los resultados de las actividades de investigación y desarrollo.

4. Componentes

- Universidades, centros de investigación, CDT's
- Sectores productivos público, privado y mixto.
- Gremios, asociaciones y usuarios
- Estado
- Sector financiero
- Organizaciones internacionales, nacionales, regionales y locales

El mayor desafío de un programa nacional de ciencia y tecnología en el contexto actual lo constituye su vinculación a redes internacionales. Es necesario redefinir el sistema de ciencia y tecnología en minería y energía, desde una perspectiva multidimensional, multicultural y de género, y examinar la situación internacional para finalmente sopesar nuestras perspectivas en un sistema económico y tecnológico global.

Con ese fin hay que resolver antiguas preguntas sobre asuntos tales como el posicionamiento tecnológico, la propiedad intelectual, la valoración del conocimiento, la experiencia tecnológica, la construcción de redes de investigación, el financiamiento, la participación de los inversionistas así como la de los Estados y las organizaciones no gubernamentales, los diversos intereses en la producción, el consumo y el medio ambiente.

B. ESTRATEGIAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Son varias las estrategias que deben ponerse en práctica para el óptimo funcionamiento del programa. En ellas se destaca la trascendencia de una adecuada interrelación de los componentes del sector.

- Financiación de las actividades de ciencia y tecnología mediante fondos directos de Colciencias, e indirectos provenientes de convenios con entida-

des, fondos sectoriales y regalías y transferencias. Colciencias ha firmado convenios con ISA, ISAGEN la GREG, EEPPM y la ANH lo cual permite articulación de fuentes y capacidades. Con relación a las regalías provenientes de la extracción de minerales, hidrocarburos y carbón y de las transferencias del sector eléctrico, podría canalizarse un porcentaje para financiar actividades de ciencia y tecnología y de esta manera garantizar que la agotabilidad del capital físico sea compensada con la generación de capital humano y de conocimiento.

- Seguimiento y evaluación de resultados de proyectos buscando sus aportes científicos y fomentando las patentes y publicaciones nacionales e internacionales y los encadenamientos productivos, la generación de valor y las mejoras de productividad.
- Demostración y diseminación de resultados mediante el estímulo a la conformación de incubadoras y compañías de servicios energéticos, con la vinculación y participación regional en el sistema de ciencia y tecnología y del sector privado como potencial usuario de lo obtenido.
- Creación de observatorios de tecnología y mercado; bases de datos de oferta y demanda de conocimiento como focos de información, análisis y debate de políticas; propuestas de desarrollo y posibilidades tecnológicas; prioridades y oferta de formación y recursos de investigación.
- Capacitación de recurso humano con sólidos conocimientos básicos tanto en el país como en el exterior y apoyo a la consolidación y crecimiento con calidad de los programas nacionales de maestría y doctorados.
- Consolidación de grupos y de redes mediante la formación de redes de trabajo y de centros de excelencia. Fomento a convenios de cooperación nacional con entidades como el ICP y los CDT's, e internacionales con universidades e institutos de investigación.
- Vinculación directa de la UPME en el señalamiento de políticas y prioridades de investigación y en el apoyo en el cumplimiento de responsabilidades para el cumplimiento de los objetivos del plan.

C. LÍNEAS DE ACCIÓN

A continuación se resumen las líneas de investigación propuestas por los participantes en los diferentes talleres, dirigidas a cinco grandes finalidades hacia las cuales debe tender el aporte de la actividad de ciencia y tecnología: el desarrollo y la productividad económica; la conformación de mercados (donde sea posible) y la regulación; el desarrollo humano y social; la sostenibilidad ambiental, y la integración regional.

De la forma como estemos preparados para afrontar estos retos depende nuestra mejor inserción en el mundo y la asimilación del conocimiento necesario para afrontar nuestra problemática interna.

I. Desarrollo y productividad económica

En el nuevo contexto de desarrollo, el papel del Estado en los aspectos minero y energético se puede concretar en facilitar las actividades, promover su desarrollo sostenible y fiscalizar el aprovechamiento de los recursos naturales.

Durante la última década la actividad minera colombiana ha registrado un importante crecimiento en el volumen y valor de la producción, así como en su cuota de exportaciones. Consecuentemente, su aporte al crecimiento de la economía colombiana ha sido significativo y continuado. A pesar de su importancia, el grado de tecnificación de la actividad es bastante limitado, con algunas excepciones como la gran minería de carbón y los desarrollos de ferroníquel en Cerromatoso. Se espera que los esfuerzos en el ordenamiento del sector, la vinculación de las autoridades regionales y la creación de mejores condiciones para facilitar la inversión privada nacional y extranjera, den resultados y se logre que su contribución aumente en la generación de valor y en la de divisas, importantes de por sí, pues podrán compensar las bajas por potenciales reducciones en la exportación petróleo.

El sector energético ha sido fuente importante de divisas; el petróleo ha sido por varios años el primer producto de exportación y el carbón el segundo. En corto tiempo estos ingresos pueden verse disminuidos aunque es de esperarse que los cambios en la política de contratación petrolera den resultados positivos en el mediano plazo.

Un panorama limitado para el gas y bastante incierto para el petróleo, hace pensar en la utilidad de aprovechar las grandes reservas carboníferas existentes, tanto para la generación de electricidad, como en otros usos (gasificación y licuefacción), y el desarrollo de toda una industria carboquímica. En este sentido, hay que reconocer el auge actual del carbón y aprovecharlo para lograr que el conocimiento generado por el FONIC, forje verdadera riqueza y sostenibilidad para el sector y sus agentes, teniendo presente la importancia del recurso carbonífero en el PIB nacional.

Concordante con los desarrollos motivados por la coyuntura de precios al alza en el petróleo y teniendo en cuenta la escasa posibilidad de yacimientos nuevos en el país a corto plazo, es indispensable trabajar en temas relativos a la penetración del gas vehicular y los biocombustibles y en la búsqueda de formas más eficientes de consumo de derivados, principalmente para el transporte. La Ley 693 de 2001, exige la mezcla del 10% de alcohol carburante con la gasolina motor en las principales ciudades a partir del 2006. El biodiesel podría igualmente contribuir a reducir la demanda de diesel que actualmente se importa y mejorar la calidad del aire de los centros urbanos. Otras tecnologías como las de motores de combustión externa y las celdas de combustible pueden ser consideradas para reducir la dependencia del petróleo.

Hay que pensar en las posibilidades de elaborar petroquímicos o carboquímicos. Al respecto cabe y ha cabido siempre la pregunta de si el país va a continuar siendo exportador neto de materias primas, dada la vulnerabilidad a diversos factores que esto acarrea.

Los temas propuestos en los talleres cubren aspectos relacionados con la exploración, explotación, transformación y utilización de recursos minerales y energéticos. En particular se sugiere trabajar alrededor de:

- *Exploración y explotación de minerales y carbón:* Aspectos de caracterización básica y avanzada, evaluación de minerales estratégicos; productividad minera y operaciones unitarias; herramientas de modelación de yacimientos y soporte a la planeación; y guías para la explotación y beneficio
- *Exploración y explotación de hidrocarburos:* Aspectos relacionados con la incertidumbre exploratoria y reducción de riesgo; trabajo en situaciones complejas y evaluación del potencial en áreas sumergidas.

- *Exportación de petróleo, carbón, piedras preciosas y oro:* Estudios de los mercados internacionales; metodologías y evaluación de acuerdos internacionales; laboratorios de calidad y tallado de joyas.
- *Transporte y almacenamiento de hidrocarburos y derivados:* Optimización de procesos; metodologías de costos de administración, operación y mantenimiento, considerando costos de corrosión y salinidad.
- *Beneficio, transporte y comercialización de carbón:* Lavabilidad de carbones y sistemas innovadores de transporte.
- *Transporte y comercialización de electricidad: Materiales para la conducción y transporte;* tecnologías de generación distribuida y microrredes; modelamiento, optimización y simulación de sistemas; calidad de energía y potencia; compatibilidad electromagnética; Sistemas Flexibles De Transporte De Corriente Alterna (FACTS) y sistemas de control avanzados y métodos y técnicas para la reducción de pérdidas.
- *Usos de los minerales y piedras preciosas:* Materiales de construcción y usos alternativos de los minerales.
- *Usos de los hidrocarburos:* Sistemas para control de robo y contrabando; industrialización del sector (petroquímica y otros); procesos de transformación del gas natural y nuevos combustibles.
- *Usos del carbón:* Energéticos (producción de combustibles líquidos y gaseosos, mezclas, briquetas, cocombustión) y no energéticos (carboquímica, carbón activado, coquización, materiales avanzados de carbono).
- *Otros temas:* mejoras de productividad (automatización de procesos, sistemas de transporte masivo); sistemas eficientes de utilización de la energía en sectores de consumo; conglomerados tecnológicos y para el desarrollo de mercados.

2. Mercado y regulación

Se han cumplido diez años de la promulgación de la Ley 142 de 1994, mediante la cual se implementó un nuevo esquema organizacional y regulatorio para la prestación de los servicios públicos. Se permite la

participación de agentes privados en la prestación de los servicios de electricidad, telecomunicaciones y agua, buscando con esto una mayor concentración y efectividad en las acciones del Estado y eficiencia en la actividad productiva. Se ha trabajado en crear condiciones de competencia en aquellos segmentos donde sea posible y regular aquellas actividades monopólicas.

Después de este periodo de reformas quedan aun muchas tareas por acometer; es de esperarse una mayor participación de la academia y la capacidad nacional en el análisis y evaluación de los logros alcanzados y los ajustes requeridos, tanto en el plano global como sectorial.

En el sector eléctrico y de gas natural se proponen temas tales como:

- Impacto sobre los usuarios finales de este esquema de prestación del servicio.
- Niveles de integración tanto vertical como horizontal y riesgos de concentración de capital extranjero.
- Metodologías de remuneración y de fijación de cargos de actividades de transmisión y distribución de electricidad y transporte de gas natural.
- Metodologías de remuneración de la generación, producción y seguimiento de estos mercados.
- Viabilidad de la actividad de comercialización pura.
- Esquemas de contratación de corto y de largo plazo.
- Posibles poderes de mercado, ejercicio de posiciones dominantes y competencia desleal.
- Tratamiento de pérdidas técnicas y no técnicas.
- Incorporación de sistemas de generación distribuida y de cogeneración en los sistemas de distribución.
- Calidad del servicio y su influencia sobre la confiabilidad y los costos.
- En el tema de derivados, además de la necesidad de desarrollar productos sustitutos, aspecto que

se trata más adelante, y de lograr las metas de penetración del gas natural que ya se plantearon, se debe avanzar en la consolidación de los mercados de derivados con precios eficientes, así como también en una estrategia de uso eficiente de energía para las necesidades de movilización de pasajeros y carga.

- Otros temas relacionados con las interconexiones internacionales, el desarrollo de metodologías de análisis de sistemas y la construcción de sistemas de información y seguimiento de mercados.

3. Desarrollo humano y social

Como se ha mencionado, gran parte de la actividad minera que se desarrolla en nuestro país presenta escasa tecnificación, debilidad para competir y alto impacto ambiental, lo que lleva a reducidos niveles de sostenibilidad. En este campo se propuso trabajar alrededor del manejo de pequeñas unidades de explotación minera, capacitación técnica, desarrollo de formas de asociación y encadenamientos productivos.

En relación con la conformación de los mercados de energía, hay segmentos de la población y regiones con dificultades de acceso, con lo cual se debe trabajar alrededor de sistemas de legalización de usuarios y de prestación del servicio en zonas de difícil gestión, y de programas de gas para el campo.

Finalmente, en las zonas aisladas y rurales, las condiciones para el desarrollo son bastante limitadas. El suministro de energía y los consumos per cápita son realmente bajos. En las zonas no interconectadas (ZNI) la producción de energía eléctrica y de fuerza motriz se hace básicamente mediante la utilización del diesel como combustible¹⁶. Los elevados costos, ineficiencia y poca confiabilidad en la prestación del servicio de energía, impide que el suministro se constituya en soporte del desarrollo de proyectos sociales y económicos con alto valor agregado. Lo anterior sin tener en cuenta los elevados subsidios que debe aportar el gobierno central y los escasos recursos de capital con que cuentan los municipios. Este hecho hace que las posibilidades de desarrollo de las comunidades aisladas sean realmente limitadas. En este campo podría trabajarse en las siguientes direcciones:

- El desarrollo de todas las opciones de la biomasa, comenzando por los biocombustibles.
- Soluciones energéticas estandarizadas para zonas no interconectadas (combustibles a partir de biomasa, energía solar, eólica, pequeñas centrales hidroeléctricas, etc.).
- Sistemas de gestión de soluciones energéticas (empresas comunitarias, otros esquemas).
- Sistemas de generación de valor en las regiones.
- Distribución e impacto del gasto de regalías.
- Otras fuentes de energía.

4. Consideraciones de sostenibilidad ambiental

Como se ha señalado, la injerencia creciente de las preocupaciones ambientales por reducir algunos efectos negativos de la contaminación ocasionada por el uso de los energéticos (principalmente los combustibles fósiles) a escala local e internacional, va a presionar el desarrollo y favorecer la incorporación de tecnologías y fuentes más limpias y mejores prácticas de utilización de la energía.

Dentro de las tecnologías limpias se hace referencia a las denominadas FENR (eólica, solar), la biomasa (la dendroenergía –energía de recursos leñosos–, residuos y biocombustibles) y el hidrógeno y las celdas de combustible. Dentro de las prácticas se pueden mencionar los acuerdos de producción más limpia y las mejores prácticas y tecnologías de producción y utilización de la energía.

En los diferentes talleres se propuso trabajar alrededor de la cuantificación de estos recursos y el desarrollo de la mejor tecnología para las condiciones del país.

Aplicaciones de la energía solar y sus efectos sobre los sistemas de distribución eléctrica, el desarrollo de turbinas para nuestras condiciones y la participación eólica en sistemas híbridos fueron algunos de los temas mencionados.

¹⁶ Según la información de la UPME y del Instituto de Planificación de Soluciones Energéticas (IPSE), existen en la actualidad alrededor de 1.000 plantas de generación eléctrica con una potencia instalada de 120 MW y una disponibilidad del 38%. El costo del diesel empleado para generación es de \$210/kWh para una tarifa de \$269/kWh. La eficiencia en la generación es del 26% y las horas de servicio diarias son en promedio ocho.

Otros temas hicieron referencia a la biomasa, en particular a los biocombustibles, que han mostrado ser una opción interesante por la posibilidad de producirse a partir de materiales renovables (aceites vegetales, grasas y aceites de residuo). Diferentes estudios de factibilidad sobre la sustitución del diesel y la gasolina por biocombustibles, describen diferentes nichos de mercado y sus posibilidades a mediano plazo (Raneses, Glaser y Price, 1995). La palma africana, la soya y la canola han sido unas de las especies más utilizadas en el mundo para la producción de este combustible a mediana y gran escala. La higuera, el coco y la colza se encuentran entre las especies nativas estudiadas para la producción del biodiesel en zonas rurales. Estos combustibles pueden tener problemas de competitividad en los centros urbanos inicialmente, pero tienen buenas perspectivas en áreas aisladas por la eliminación de costos de transporte.

Otro de los temas mencionados fue el del hidrógeno y las celdas de combustible para el transporte público. El hidrógeno puede ser utilizado en aplicaciones móviles y estacionarias, es capaz de impulsar automóviles, generar energía para usos industriales y sustituir a todas las fuentes de electricidad, desde baterías de computadoras portátiles hasta la generación de electricidad a gran escala. En Argentina se desarrolló el modelo de un automóvil a hidrógeno y en Costa Rica se estudia la viabilidad de introducir este combustible.

Otros temas hacen referencia al manejo de crudos pesados, los sistemas y tecnologías de producción más limpia, las prácticas de uso eficiente, sistemas de ordenamiento y de transporte público, programas de transporte masivo y de cambios en patrones de transporte privado, sistemas de tratamiento de estériles, aguas, desechos y residuos, sistemas de recuperación de materiales y desechos (reciclaje).

5. Energía e integración

En la actualidad, América Latina presenta problemas de crecimiento de la pobreza y el desempleo, volatilidad de las corrientes financieras y pérdida de confianza en el mercado por parte de los inversionistas extranjeros. Estos problemas han minado la confianza de sus habitantes.

Para reestructurar y recuperar la posición latinoamericana en el contexto mundial, es necesaria (ade-

más de ser uno de los caminos más coherentes) la integración regional y en sentido más específico la integración energética. Para ello se deben restablecer los patrones de crecimiento económico y social, con el objetivo de promover las oportunidades de empleo y permitir una participación competitiva en la economía global, acorde con las tendencias ambientales y culturales.

Lo que se ha adelantado en América Latina en materia de comercio internacional es considerable, teniendo en cuenta que proyectos como el Mercosur han incrementado el intercambio comercial en un 140% en el periodo comprendido entre 1991 y 2001. Además el intercambio comercial entre países andinos ha aumentado sustancialmente en los últimos 30 años, pasando de US\$95 millones en 1969 a US\$5.278 millones en 2002¹⁷.

La integración regional traería consigo la necesidad de consolidar y coordinar políticas macroeconómicas entre países, se pensaría en un modelo de mercado competitivo de libre y limpia competencia, así como en marcos políticos y regulatorios estables.

En principio, la integración energética sería no un fin como tal, sino más bien uno de los más fuertes y meritorios mecanismos para iniciar el proceso de integración debido a las características que lo rodean. A partir de la integración energética se optimizaría y maximizaría el uso de la infraestructura para el transporte de energéticos existente en cada país, esto permite capturar los diferentes mercados y fuentes y asegurar el abastecimiento de las regiones que no cuentan con los recursos suficientes.

Un punto crucial para el cumplimiento de la integración es fortalecer las intenciones de inversión de clientes potenciales, mediante la promoción de la seguridad política, la protección a la rentabilidad, el establecimiento de marcos legales regionales estandarizados y la recuperación de la credibilidad de la zona como región de inversión.

Para lograr una adecuada integración energética regional, es necesario concertar una política regulatoria estable y transparente, incentivar la convergencia en las estrategias de desarrollo energético, expandir las inversiones por parte del sector productivo asegurando buenas utilidades, protegiendo las inversiones y generando un ambiente adecuado para atraer la

¹⁷ Libro Blanco, "I simposio de integración energética", Págs. 3 y 4

inversión extranjera. De esta manera los usuarios de las redes, podrán contar con el acceso a las fuentes de energía y servicios a precios adecuados, sin atentar contra la economía de sus países y con altos niveles de calidad en su prestación.

Algunos temas propuestos son:

- Organizaciones de productores de hidrocarburos y carbón a escala latinoamericana
- Mercados regionales de electricidad y gas natural
- Observatorios de mercados y tecnologías y seguimiento a inversiones
- Modelos energéticos regionales y globales
- Seguimiento de acuerdos internacionales
- Centros Regionales de Desarrollo Tecnológico
- Conglomerados de industrias (petróleo, gas, carbón)

D. METAS PARA EL MEDIANO Y LARGO PLAZO: AL 2010 Y AL 2015

En el contexto de un plan vivo y en permanente construcción, se sugieren metas para el mediano y largo plazo que deben ser ajustadas y corregidas anualmente en función de los objetivos y de las líneas de acción ya mencionadas.

A continuación se describen algunas metas transversales a todos los objetivos para el desarrollo de las capacidades de investigación de los sectores minero y energético:

- Desarrollar un ejercicio permanente de prospectiva y vigilancia tecnológica, con el objetivo de lograr compromisos y participación por parte de los agentes relacionados en la construcción permanente del plan y en la definición de política en ciencia y tecnología.
- Crear sendos observatorios de cambio tecnológico en minería y energía.

- Fortalecer la investigación y sostenibilidad del sector energético colombiano mediante la firma, con todas las entidades del sector, de seis convenios interadministrativos adicionales a los cuatro ya firmados.
- Fomentar y crear un fondo sectorial para la investigación en el sector energético, con el aporte de fondos tales como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas (FAZNI), Fondo de Apoyo Financiero para la Electrificación Rural (FAER), Regalías y con los convenios intersectoriales.
- Promover nuevas fuentes de financiación para programas de innovación y desarrollo tecnológico, a través de instituciones nacionales e internacionales.
- Realizar por lo menos dos convocatorias anuales en conjunto con las entidades más importantes de los sectores minero y energético.
- Financiar anualmente por lo menos un programa estratégico de innovación en ambos sectores.
- Financiar los 30 mejores proyectos de cada año, de acuerdo con los programas estratégicos previamente definidos y con las directrices del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería.
- Otorgar una mención de honor al mejor proyecto anual en función del beneficio investigación-industria.
- Desarrollar un programa anual de intercambio de profesores e investigadores entre universidades, CDT's e industrias.
- Realizar cada dos años un seminario internacional sobre el estado de la energía y la minería en el mundo y su impacto en Colombia.
- Promover la creación de un comité presidido por el Ministerio de Minas y Energía con la participación de la UPME, ISA, ISAGEN, Ecopetrol y el ICP, INGEOMINAS, Colciencias, los gremios, asociaciones etc., para la coordinación sectorial de objetivos y metas y la consolidación de estrategias de articulación de los agentes.

- Formar 100 doctores y 100 magíster en los diez años.
- Promover la formación de tres redes de grupos de investigación en carbón, hidrocarburos, biomasa y biocombustibles y fortalecer la red de grupos de investigación en Eficiencia Energética
- Promover la formación y consolidación de un centro de excelencia en energía.
- Promover y apoyar la formación de conglomerados de conocimiento
- Fortalecer vínculos institucionales y fomentar acciones de investigación con Brasil en petróleo y gas, biocombustibles e hidrogeno y celdas de combustión. Con Venezuela en hidrocarburos, con Estados Unidos en carbón y petróleo y con la Unión Europea y Cuba en eficiencia energética y fuentes renovables.
- Concretar acciones conjuntas con Ecopetrol, el ICP y la ANH, para definir estrategias y acciones en conjunto con el fin de aprovechar y potenciar los laboratorios, plantas piloto e infraestructura para el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la investigación en hidrocarburos.



BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS PRINCIPALES

DOCUMENTOS PRINCIPALES

- BANCO DE LA REPÚBLICA. Información Económica. Estadísticas, Bogotá.
http://www.banrep.gov.co/estad/dsbb/sec_ext_013.xls
- Barreto Leonardo, Cadena Angela, Larsen Erik, Smith Ricardo, 2000, “*International Energy Scenarios for the Colombian Energy System*”, Revista Energética, Vol. 23, Julio.
- CEPAL (2002) Documento ‘*Características de la inversión y del mercado mundial de la minería a principios de la década de 2000*’. Humberto Campodónico, Georgina Ortiz, octubre, división de recursos naturales e infraestructura, Santiago de Chile, Octubre de 2002.
- CEPAL (2004), *Informes periódicos internacionales La inversión extranjera en América Latina y el Caribe*, Álvaro Calderón, Pablo Carvallo, Michael Mortimore y Márcia Tavares. Santiago de Chile.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (2003) *Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006*. Hacia un Estado Comunitario, DNP, Bogotá.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2000) *Futuros energéticos, futuros para una energía sostenible en Colombia*, UPME, Bogotá.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (2000) *Programa de Investigaciones en Energía y Minería*, DNP-Colciencias, Bogotá.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2005) *Estadísticas de minas y energía 1994-2004* UPME, Bogotá.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2005) *Boletín estadístico de minas y energía 1994-2004*, UPME, Bogotá.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Y COLCIENCIAS (1985) *Programa Nacional de Ciencia y Tecnología en Recursos Energéticos*, Bogotá.

- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA Y COLCIENCIAS (2005) *Plan Minero 2019, Propuesta*, UPME, Bogotá.
- COMISIÓN EUROPEA (2002) *Energía 2002, controlemos nuestra dependencia*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- COMISIÓN EUROPEA (2000) 'Europa: un espacio para la investigación', en *Europa en movimiento*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, en http://europa.eu.int/comm/publications/booklets/move/22/txt_es.pdf
- CUMBRE DE LAS AMÉRICAS. *Declaraciones de las Reuniones Ministeriales de Energía: Washington 1995, Santa Cruz 1996, Caracas 1998, Nueva Orleans 1999, México 2001, Trinidad y Tobago 2004*.
- CUMBRE DE LAS AMÉRICAS. *Declaraciones de las Reuniones Ministeriales de Encargados de Minería: Santiago de Chile 1996, Arequipa 1997, Buenos Aires 1998, Caracas 1999, Vancouver 2000, Santo Domingo 2001, Quito 2004*.
- ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. NATIONAL ENERGY POLICY DEVELOPMENT GROUP (2001) *Report: Reliable, Affordable, and Environmentally Sound Energy for América's Future*, mayo.
- ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. DEPARTAMENTO DE ENERGÍA RED DE COMUNIDADES INTELIGENTES, en <http://www.sustainable.doe.gov/espanol/municipal/federal.shtml>
- EUROPEAN COMMISSION - COMMUNITY RESEARCH (2003) 'World energy technology and climate policy outlook 2030 –WETO–' Bélgica.
- EUROPEAN COMMISSION (2000) 'Environment Energy Europe, An Investment for Now and the Future' Bélgica.
- GARVIN, D. A. (1998) 'Building a Learning Organization' en *Harvard Business Review on Knowledge Management*, Harvard Business School Press, Boston.
- Gordillo, G. (2004) 'Propuesta para la creación del Centro de Excelencia en Recursos Energéticos Sostenibles', *Borradores sobre energía solar*, CERES, octubre, Bogotá.
- HEFFERNAN, V. (1998) *Documento 'Worldwide Mineral Exploration, Preparing for the Next Boom, financial times energy'* Dundee.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (2004) *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad*.
<http://www.ingeminas.gov.co/web2004/ModuloPublicacionPortal/PublicacionPortal.asp>
- International Energy Agency (2004) *International Energy Outlook 2004*, Washington. Energy Information Administration, Washington.
- International Institute for Environment and Development (IIED), World Business Council for Sustainable Development (WCSO). (2002) 'Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur'. Londres

- La Unión Europea en Investigación e innovación.
http://europa.eu.int/pol/rd/overview_es.htm
- LERNIT, J.Y JOLLANDS N. (2001) *Monitoring Energy Efficiency Performance in New Zeland*, Nueva Zelanda.
- ARAPEL, *asociación regional de empresas de petróleo y gas natural en Latinoamérica y el caribe, Libro Blanco (2003)*, I simposio de integración energética, Amanda Pereira, Uruguay
- LOBOGUERRERO, J. (2004) 'Propuesta para la creación del Centro de Excelencia en Recursos Energéticos Sostenibles' en *Borradores sobre energía solar*, CERES, octubre, Bogotá.
- MOSQUERA, I.Y ESTRADA, H. (1997) 'Planeación por escenarios. Destino: Colombia', en el foro *Repensando y redefiniendo el desarrollo regional en el siglo XXI*, documento, 1-3 de diciembre, Santa Fe de Bogotá.
- NOORGARD, R. (1998) 'Beyond Growth and Globalization', en *Más allá del crecimiento: Políticas e instituciones para la sustentabilidad*, Quinta Conferencia Bienal de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica, noviembre 15-19, Santiago de Chile.
- Organización Latinoamericana de Energía (1996), *Simposio Hemisférico Energético. Promoción de tecnologías energéticas limpias en los mercados de energía eléctrica en Informe final: Tecnologías energéticas limpias para las Américas* Publicado por la Administración de Información Energética (EIA) del Departamento de Energía de los EE.UU. 1996
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE COMERCIO (2001) 'Declaración ministerial'. Conferencia ministerial, cuarto periodo de sesiones, 9 - 14 de noviembre, Doha.
- RANESES A.; GLASER L.Y PRICE M. (1995) 'Potential Niche Fuel Markets for Biodiesel and their Effects on Agriculture' en *Economic Research Service, USDA, Industrial Uses/IUS-6/ September 1996*.
- PRÍAS, O. (2004), 'Gestión integral de la eficiencia energética en ambientes competitivos: un nuevo enfoque'. Memorias del Congreso Internacional sobre Uso Racional y Eficiente de Energía, noviembre, Cali.
- SANDERS, G.Y TURNER K. *Is Biodiesel Economically Viable in the UK? Lipid Technology*, March p 29-33. PJ Barnes & Associates.
- EUROPEAN COMMISSION (2003) 'The energy challenge of the 21st century: The role of nuclear energy', Bélgica. Revista RTD, version J1. Strategy and policy.
- SEGUNDA REUNIÓN DE PRESIDENTES DE AMÉRICA DEL SUR (2002) *Declaración Final*, Consenso de Guayaquil, julio, Guayaquil.
- UNIÓN EUROPEA (2002) *Energía: controlemos nuestra dependencia. Oficina de Publicaciones Oficiales de la Comunidad Europea*, Luxemburgo, en http://europa.eu.int/comm/energy_transport/livrevert/brochure/dep_es.pdf

UNIÓN EUROPEA (2002) *La Unión Europea en investigación e innovación*.
<http://www.europa.eu.int/pol>. Energía: controlemos nuestra dependencia.

WORLD ENERGY COUNCIL (2001) *Energy Technologies for the 21st Century - Energy Research, Development and Demonstration Expenditure 1985-2000: An International Comparison*' Study Group of the World Energy Council, Londres.

ZEBALLOS, R. Y VIGNOLO, J. M. (2000) *¿Redes de transmisión o generación distribuida?*
Facultad de Ingeniería – IIE, Montevideo.



2005-2015



PLAN ESTRATÉGICO PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA Y MINERÍA

Transversal 9A bis N° 132-28
Bogotá D.C. - Colombia
Teléfono: (57-1) 625 8480
Fax: (57-1) 625 1788
contacto@colciencias.gov.co
www.colciencias.gov.co

