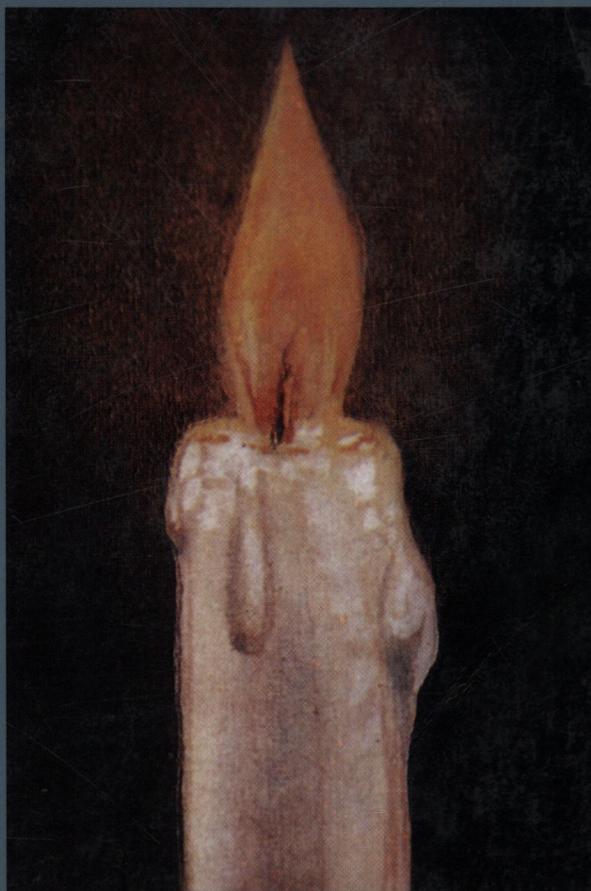


PROGRAMAS  
NACIONALES  
DE CIENCIA Y  
TECNOLOGIA

# CIENCIA CONTRA LA OSCURIDAD

BASES PARA UN PLAN DEL PROGRAMA NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA

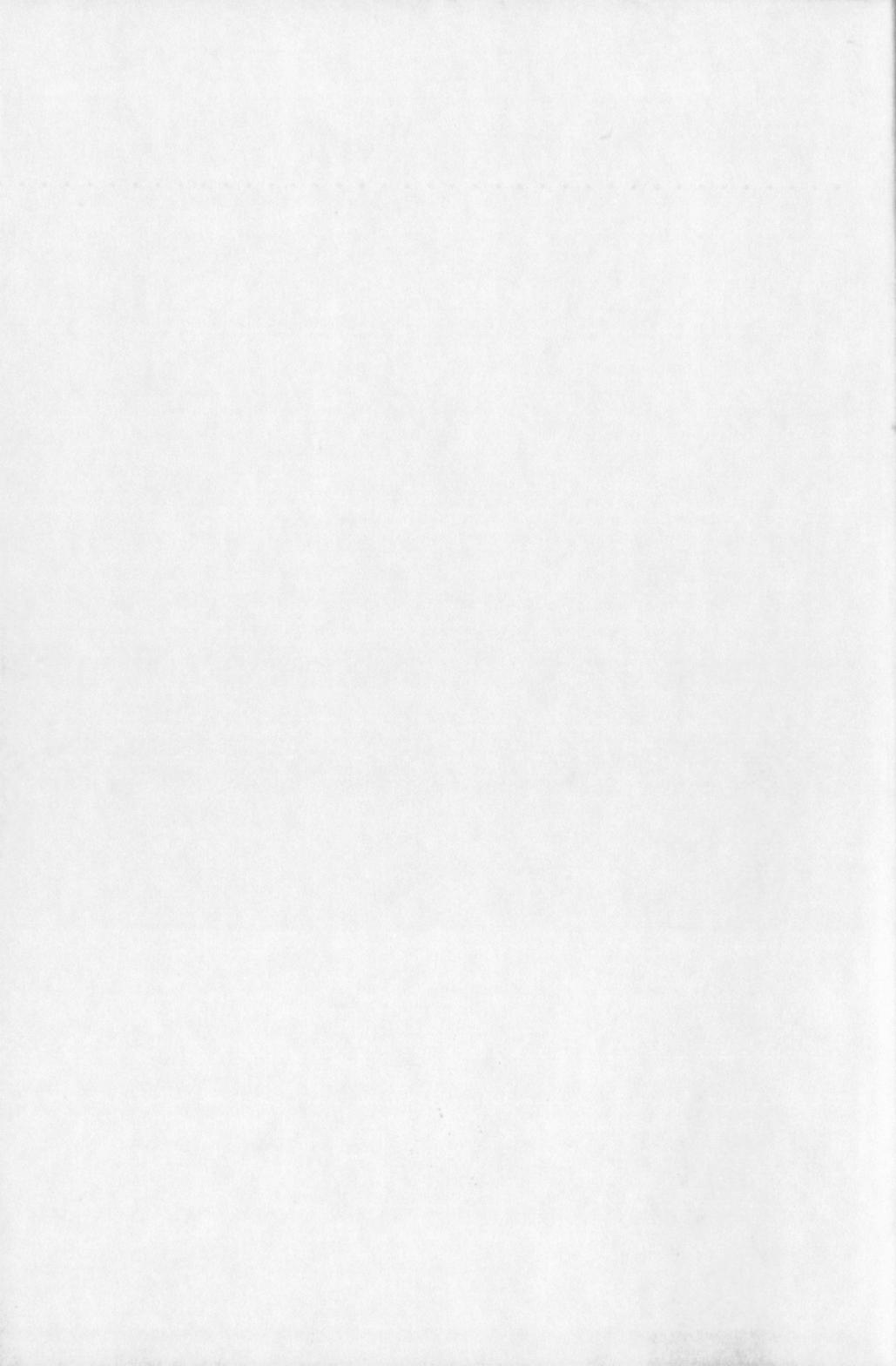


  
COLCIENCIAS

## PROGRAMAS

Once Programas Nacionales conforman en la actualidad el sistema nacional de ciencia y tecnología: CIENCIAS BÁSICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS, BIOTECNOLOGÍA, ESTUDIOS CIENTÍFICOS DE LA EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA SALUD, CIENCIA Y TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS, ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA, MEDIO AMBIENTE Y HABITAT, DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL Y CALIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MAR, y el PROGRAMA DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA Y MINERÍA. Cada uno de estos Programas se ha concebido como un ámbito de preocupaciones científicas y tecnológicas estructurado por objetivos, metas y tareas fundamentales que se materializan en proyectos y otras actividades complementarias. Los Programas Nacionales son orientados por un Consejo de Programa, integrado por investigadores, miembros del sector privado y funcionarios del Estado. Los Consejos definen políticas, planean, consiguen y distribuyen recursos.

Durante su primer año de funcionamiento, los Consejos realizaron una amplia convocatoria que movilizó a más de 600 personas en la elaboración de análisis prospectivos y planes estratégicos. El resultado de este trabajo se recoge en esta serie de libros, que representa la más importante participación colectiva de la comunidad científica colombiana, los empresarios y responsables del desarrollo tecnológico y la política científica, en la organización de su acción y la planeación de su propio devenir.



006  
00708  
Ej. 1

Programas nacionales de ciencia y tecnología

## CIENCIA CONTRA LA OSCURIDAD

BASES PARA UN PLAN DEL PROGRAMA NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA



Coordinación general de la edición:  
Myriam Henao W.

Coordinación de este volumen:  
Alfonso Maldonado C.

986 L

Cubierta: Camila Costa

Primera edición: septiembre de 1993

© Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia  
y la Tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias.

ISBN: 958-9037-25-9 (obra completa)

ISBN: 958-9037-31-3 (volumen *Ciencia contra la oscuridad*)

Edición, impresión y encuadernación: Tercer Mundo Editores.

Impreso y hecho en Colombia.

Printed and made in Colombia.

CONSEJEROS DEL PROGRAMA NACIONAL DE  
INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA  
QUE PARTICIPARON EN ESTA CONVOCATORIA

(1992)

Juan Camilo Restrepo - Ministro de Minas y Energía, Presidente del Consejo  
Alejandro Martínez Villegas - Viceministro de Minas y Energía  
Armando Montenegro - Jefe Departamento Nacional de Planeación  
Clemente Forero Pineda - Director Colciencias  
José Luis Villaveces - Subdirector Programas Ciencia y Tecnología Colciencias  
Kurt Bayer - Investigador  
Fernando Lecaros - Investigador  
Humberto Rodríguez - Investigador  
Francisco Ochoa - Comisión Nacional de Energía  
César González - Sector privado  
Antonio Hernández - Sector privado

SECRETARIA TECNICA Y ADMINISTRATIVA DEL PROGRAMA

Olga Escobar - Jefe Oficina de Planeación Ministerio de Minas y Energía  
Alfonso Maldonado C. - Jefe del Programa, Colciencias

## RECONOCIMIENTOS

Colciencias agradece la participación y el apoyo al Simposio del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, de las siguientes entidades:

Ministerio de Minas y Energía  
Instituto Colombiano del Petróleo  
Carbocol  
ISA  
Gobernación de Santander

# CONTENIDO

Prefacio	IX
Presentación	XI

## Capítulo 1

<b>PROGRAMA NACIONAL DE ENERGIA Y MINERIA</b>	<b>1</b>
---	----------

## Capítulo 2

<b>PROPUESTAS PARA UN PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA</b>	<b>23</b>
---	-----------

Energía y minería dentro del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología	23
--	----

*Julio Sampedro Acevedo*

Proceso de planeamiento integrado de la investigación en energía y minería	35
--	----

*Fanor Mondragón*

Investigación en energía y minería	42
------------------------------------	----

*Hernando Díaz Morales*

La energía y la minería dentro del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología	59
--	----

*Fernando Navas*

## Capítulo 3

<b>SIMPOSIO DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA</b>	<b>75</b>
---	-----------

Investigación en usos y aplicaciones del carbón en Colombia	75
---	----

*Jesús A. Pajares (España)*

El Instituto de Asuntos Nucleares y el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería	83
<i>Ricardo Ramírez y Carlos Sánchez</i>	
Plan de Investigación y Desarrollo Tecnológico	87
<i>Uriel Salazar Duque</i>	
Bases de un Programa Nacional de Investigaciones y Desarrollo en Ciencia y Tecnología en Energía y Minería	90
<i>Gabriel Poveda Ramos</i>	
El Ingeominas y el Programa de Ciencia y Tecnología en Energía y Minería	96
<i>Adolfo Alarcón Guzmán</i>	
Carbocol, como ente promotor de la investigación y del desarrollo en el sector carbonífero	100
<i>Carbocol</i>	
Comentarios a los documentos	110
Temas de reflexión del Simposio nacional de Investigaciones en Energía y Minería (relatorías)	141
Conclusiones generales del Simposio del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería	150

**ANEXOS 157**

Anexo 1. Proyectos de Investigación del Programa Nacional de Energía y Minería, en ejecución	157
Anexo 2. Participantes en el Simposio del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería	159

## PREFACIO

Estos libros son el fruto de uno de los más ricos experimentos de planeación participativa que se haya realizado en Colombia y, en tal sentido, una valiosa contribución de la comunidad científica colombiana a la construcción de nuevas formas de interacción entre los ciudadanos.

A lo largo de 1992, más de 1400 personas, entre investigadores, empresarios, invitados de otros países y funcionarios de las distintas ramas del gobierno participaron en esta empresa. Se trataba de orientar las actividades de ciencia y tecnología del país, y a la vez de comprometer las voluntades de nuestros investigadores alrededor de grandes emprendimientos nacionales. Muchos participantes no se conocían entre sí, a pesar de trabajar en temas muy cercanos. La hipótesis de la desarticulación de la actividad científica en Colombia, planteada como problema central por la Misión Nacional de Ciencia y Tecnología en 1990, fue verificada, pero este ejercicio comenzó a derrumbarla.

La comunidad en gestación se sorprendió ante la disposición al concierto de las voluntades de sus miembros alrededor de los criterios y estrategias globales. Los diagnósticos generales se compartían. Pero la diversidad de los puntos de vista y de las propuestas adelantadas, le daba vida y movimiento a la faena planificadora.

Las discusiones adelantadas fueron interdisciplinarias, como interdisciplinarios son los programas de ciencia y tecnología. La riqueza de una fertilización cruzada de las ideas es el principal resultado de esta concepción.

Cada uno de los libros de esta serie se ofrece como una macro-convocatoria para movilizar a los investigadores, a los gestores del desarrollo, a los estudiantes y a todos los interesados hacia el avance del conocimiento por los derroteros de investigación que se proponen para los programas. También se invita en estos libros a que estos actores participen en la planeación y

la prospectiva continuas del ámbito del conocimiento que cubre cada programa.

El proceso se inició invitando a un grupo de investigadores, empresarios y educadores a elaborar los documentos orientadores de la consulta. Se les pidió imaginar que tenían frente a ellos a un estudiante deseoso de definir un tema de tesis y que, en vez de responderle en forma directa, el maestro se tomaba el trabajo de dar la vuelta completa para analizar todas las grandes opciones de la investigación del programa. En algunos casos, un ejercicio imaginario se construyó simulando la situación de un inversionista consciente del valor de invertir en investigación, pero sin saber precisamente en qué tipo de proyecto. Estos documentos iniciales fueron repartidos muy ampliamente entre la comunidad, provocando valiosas reacciones, muchas de las cuales se han incluido en estos volúmenes. Documentos y comentarios fueron la materia prima de las discusiones de los simposios. El equipo de Colciencias preparó, apoyándose en estas contribuciones, su propia propuesta de orientación para el programa y la sometió a discusión de los participantes en estas reuniones, que se hicieron en los más diversos lugares de la geografía nacional, con el objeto de que sirvieran para dinamizar la reflexión sobre las ciencias en las regiones.

La propuesta resultante de esta interacción no es una sola, ni totalmente articulada. La diversidad de las visiones se recoge como un conjunto de invitaciones que se ofrecen a los investigadores colombianos, a veces como complemento unas de otras, otras como opciones alternativas.

Estos libros contienen diagnósticos, planes e interpretaciones, pero, sobre todo, son un esbozo de la reflexión estratégica colectiva de nuestra comunidad científica y el primer paso en un proceso vivo de planeación de la ciencia y la tecnología en nuestro país.

*Clemente Forero Pineda*  
Director de Colciencias

## PRESENTACION

- El hombre del siglo XX se encontró ante un universo lleno de información —que digiere en forma parcial y reducida aunque pretende lo contrario— pleno de tecnología a su alcance, que no descifra porque la toma como presupuesto de su existencia, y con la inconvencible convicción que ese estatus es bien merecido. Es indudable que la humanidad ha tenido un avance vertiginoso en el conocimiento de las ciencias naturales, desarrollo que surge del racionalismo y que hoy se mantiene más por la dinámica que le imprime la economía moderna que por una actitud contemplativa muy propia de los sabios de otras épocas.

En las postrimerías de este siglo, alcanzamos a advertir que debemos avanzar aún más en el conocimiento de la realidad que nos rodea, no sólo en el campo estricto y separado de cada ciencia, que de suyo es conocimiento parcial, sino en un conocimiento integral. Para decirlo de otra manera, se nos ha complicado tanto el universo, que los físicos han tenido que volverse teólogos y estos últimos buscan a Dios en las leyes del universo.

Pero esta necesidad de conocer, no puede limitarse a ser puro apetito intelectual. Dicho conocimiento necesariamente debe ser instrumento de avance en el mejoramiento de la calidad de vida de la humanidad. Aparentemente, con ello nos planteamos el problema de la separación entre *ciencia básica* y *ciencia aplicada*. Sin entrar a definir las diferencias entre conocimiento teórico y praxis —problema teórico y problema práctico— debe considerarse que tal aparente dicotomía puede superarse a través de estrategias que permitan la necesaria complementariedad que se obtiene del conocimiento interdisciplinario. En este punto, el cuestionamiento se lleva a la definición de mecanismos que promuevan el desarrollo del conocimiento teórico, junto con la satisfacción de las necesidades de las genera-

ciones por venir. En el desarrollo de este proceso, la primera definición que debe realizarse es la relativa a los papeles que deben tener los diferentes agentes sociales: la comunidad científica tiene el suyo y los administradores o gerentes el propio.

La creación en Colombia del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología encuentra su razón de ser en estos breves comentarios. Es necesario que el país oriente y obtenga el mejor provecho de las indispensables interacciones entre su comunidad científica y los retos sociales y económicos que su realidad pone de presente. Fue claro el señor presidente de la República al instalar este Consejo, cuando señaló que a este último le corresponde impulsar los procesos de innovación, consolidar nuestra capacidad científica y promover la utilización racional de nuestros recursos.

Para acometer estos retos, el país ha entrado a definir un programa nacional de investigaciones en energía y minería. En la actual coyuntura de crisis energética, tenemos ante nosotros el reto de obtener un adecuado y oportuno equilibrio entre oferta y demanda de energía, pero también aprender de la misma para eliminar aquellos factores estructurales que permitieron tan graves perjuicios al país. Sin embargo, es claro que no le corresponde al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología resolver este problema puntual, sea coyuntural o estructural. El papel de nuestros investigadores es otro, más continuo en el tiempo: incorporar a la planeación energética, que deben elaborar y ejecutar los administradores, los conocimientos científicos y tecnológicos sobre los recursos de que disponemos, sobre nuevos recursos y fuentes energéticos, y acerca de los métodos más adecuados y eficientes de transformación y conservación de la energía, así como el conocimiento científico de los fenómenos sociales, económicos, jurídicos y políticos que interactúan con ese proceso planificador.

De igual forma, en materia prima, el Estado debe definir y aplicar una política clara acerca del aprovechamiento de sus recursos naturales no renovables. En algunas administraciones se ha definido la política pero la explicable —que no justificada— rotación de los administradores, en ocasiones ha llevado a que no se apliquen dichas políticas. En otras administraciones, por falta de preparación o de tiempo —o las dos—, se ha realizado gestión sin haber definido con claridad los objetivos de la misma, lo cual es más preocupante.

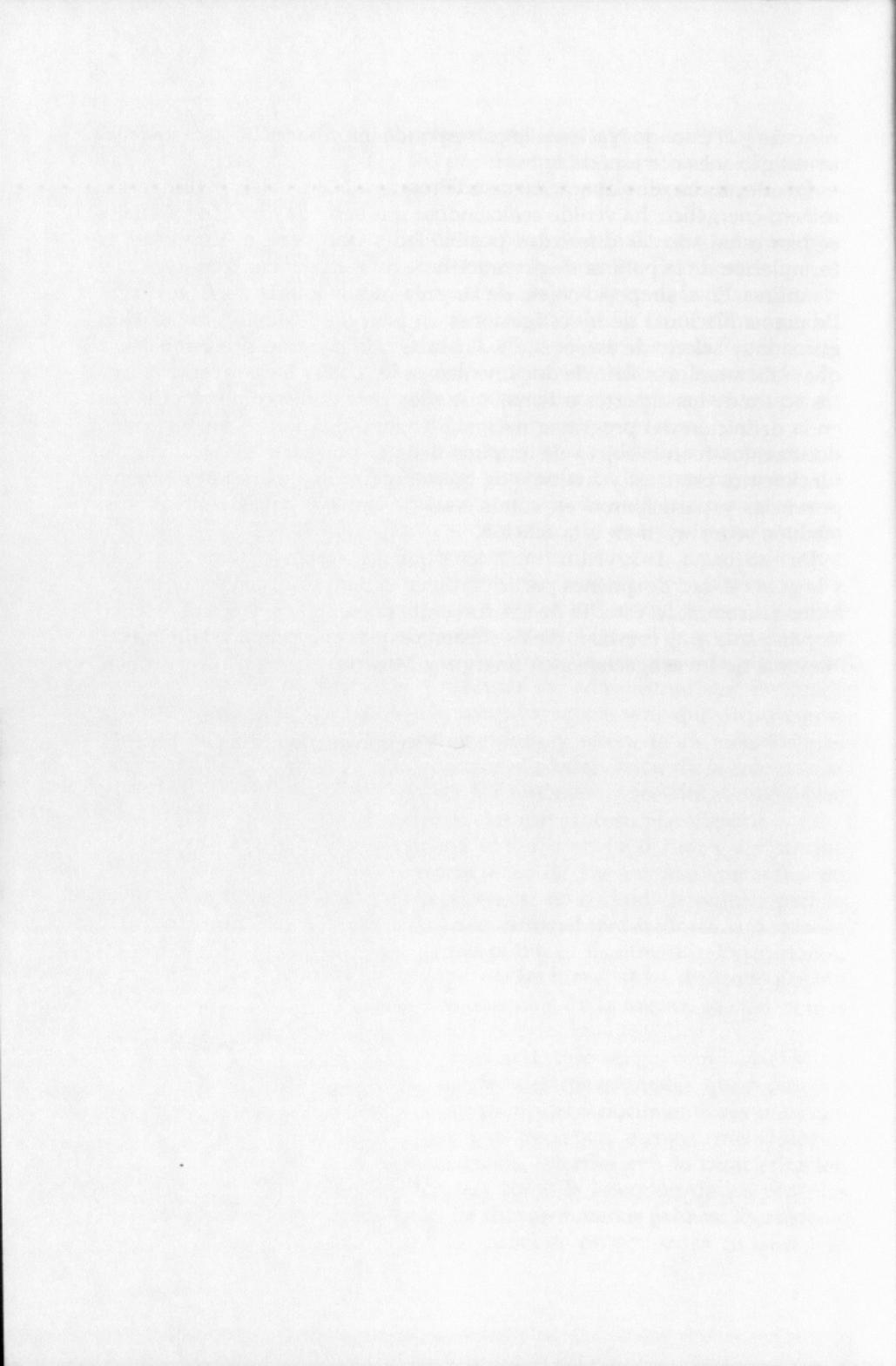
La definición de una política nacional, que tenga como objetivo el aprovechamiento eficiente y racional de nuestros minerales, que promueva un desarrollo sostenido del país, debe partir del conocimiento científico que permita identificar y evaluar nuestros recursos, escoger metodologías apropiadas en exploración y explotación, acordes con la caracterización hecha y con la finalidad definida, así como la selección de los procesos industriales para la transformación de dichas materias primas. Es evidente que la comunidad científica tiene un papel de primer orden en tales defi-

niciones y al Consejo Nacional le corresponde impulsar el desarrollo de las investigaciones correspondientes.

En este proceso de elaboración de un Programa Nacional de Investigación minero-energético, ha venido realizándose una serie de foros en los cuales se han estudiado las diferentes posibilidades que tiene el Estado en la formulación de la política de promoción de investigaciones tecnológicas y científicas. En el simposio objeto de las presentes memorias, el Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería invitó a un grupo muy selecto de asesores, de altísimas calificaciones profesionales, a que elaboraran una serie de documentos en los cuales hacen planteamientos acerca de los aspectos o temas que ellos consideran como prioritarios en la definición del programa nacional de investigación. A su vez, estos documentos fueron objeto de amplios debates por parte de académicos, funcionarios estatales y analistas de gran trayectoria, quienes presentaron ponencias y participaron en comisiones de trabajo, cuyas conclusiones también se incluyen en esta edición.

De esta forma, dado el altísimo interés que despiertan los temas tratados y la gran calidad de quienes participaron en el Simposio, con seguridad el lector disfrutará del estudio de los diferentes documentos, y podrá obtener un panorama muy completo de los elementos que conformarán el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería.

*Alejandro Martínez Villegas*  
Viceministro de Minas y Energía



# Capítulo 1

## PROGRAMA NACIONAL DE ENERGIA Y MINERIA\*

### EL CONOCIMIENTO CIENTIFICO Y TECNOLOGICO PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA Y LOS RECURSOS NATURALES DEL PAIS

**D**urante los últimos 30 años se ha despertado progresivamente la conciencia de la humanidad acerca de las limitaciones de los recursos del orbe. Los modelos de crecimiento abiertos, en los que desde un centro y un mercado esencialmente urbanos se controlaban operaciones de explotación de recursos, infinitos para efectos prácticos, fueron sustituidos en una primera fase de este proceso por modelos donde el agotamiento de los recursos a escala global era el pivote central de las estrategias nacionales y empresariales y la preocupación orientadora de los análisis de prospectiva. En la segunda fase de esta toma de conciencia, los límites del crecimiento fueron relativizados. Cuatro factores fundamentales hicieron más llevadero el apocalipsis y entreabrieron una claraboya de esperanza:

1. La posibilidad de renovar o recuperar algunos recursos.
2. El descubrimiento de materiales sustitutos que, siendo considerablemente más costosos, se encuentran en relativa abundancia a disposición de la humanidad.
3. Los avances científicos que permiten la explotación de nuevas fuentes de energía y nuevos materiales.

---

\* Documento elaborado por Colciencias para la convocatoria del Simposio del Programa Nacional de Investigación en Energía y Minería, realizado en Bucaramanga los días 19, 20 y 21 de marzo de 1992.

4. El desarrollo tecnológico que aumenta perceptiblemente la eficiencia en el uso de los recursos tradicionales.

La proyección fatalista de una línea continua hacia el agotamiento absoluto de los recursos fue sustituida, en esta segunda fase, como una era de transición entre una época de recursos y energía baratos y otra de recursos y energía costosos.

Proyecciones más refinadas matizan el carácter de esta transición anotando que en ese devenir se suceden coyunturas de penuria de recursos (principalmente energéticos) y otras de relativa abundancia. En estas últimas los precios caen y se desestimulan las inversiones tanto en el desarrollo tecnológico como en la prospección de los recursos. Igualmente destacan la inestabilidad intrínseca de los equilibrios entre demanda y oferta de recursos y la asocian con los largos períodos de maduración de las colosales inversiones, que son necesarias para realizar los proyectos energéticos y mineros; con el carácter ocasional (*windfall*) de los descubrimientos de yacimientos y con la independencia mutua (aislamiento) de los procesos de planeación de las distintas fuentes de energía a nivel internacional y aun nacional en algunos casos.

En esta era de transición, que coincide además con una fase de exacerbación de la competencia a nivel internacional, resulta de gran ayuda disponer de atributos geográficos y naturales. Pero el dominio de los mercados (hacia donde fluyen los productos que se elaboran con esos recursos) se lo disputan las naciones que producen conocimiento y que con la ayuda del saber científico, aprovechan sus recursos naturales para la competencia. En otras palabras, sólo con un desarrollo permanente del conocimiento, con una capacidad nacional muy fuerte para aprovechar los recursos naturales, con un planeamiento estratégico a largo plazo, concebido a la luz de los desarrollos teóricos más avanzados, puede una nación moderna aprovechar el potencial de sus recursos naturales.

En Colombia, el planeamiento energético ha entrado en una crisis. Un uso mecanicista de los modelos de planeamiento que les rinden culto a ingentes masas de información empírica y el empleo de variables de numerosas cifras significativas pero que ignoran tanto lo cualitativo como lo estructural, se encuentra en la raíz de estas deficiencias. De allí que resulte imprescindible desarrollar el conocimiento y aprovechar los avances teóricos conceptuales en el estudio de los procesos dinámicos que han dado lugar a una revolución del pensamiento científico. Las teorías del caos y las catástrofes, por ejemplo, a pesar de lo que sugieren sus denominaciones, permiten aproximarse en una forma más segura a trayectorias estables de disponibilidad de los recursos y fuentes energéticas; pero aún no han entrado en nuestros modelos de previsión y planeamiento y muy poco inclusive en los currículos de nuestras facultades de ingeniería. Se nos ha ido el tiempo en una alternación binaria de discursos simplistas sobre ca-

pacidades excesivas y capacidades insuficientes, sin que hayamos logrado desarrollar una noción eficaz y practicable de seguridad energética, como fundamento de la planeación de los recursos.

Pero esta carencia no ha afectado exclusivamente a la planeación. Prácticamente todos los aspectos del manejo energético en Colombia han padecido, al igual que los procesos de explotación de los recursos minerales, de la baja incorporación de conocimiento en los procesos, de la importación de técnicas sin que se dominen las bases teóricas que les dan sustento, de la mínima capacidad de manejo global de los problemas y de la despreocupación por el contexto conceptual en el cual se desenvuelven.

Desde hace años hizo carrera entre nosotros una curiosa versión del pragmatismo, que supone que en la preocupación por lo inmediato, por lo puntual, por el corto plazo, se encuentra la eficiencia. Infortunadamente esta versión se mantiene, a pesar de la enorme evidencia en contra que proveen las sociedades pobres en recursos que apostaron por el desarrollo intensivo en conocimiento. El resultado colombiano ha sido el insuficiente y desordenado desarrollo tecnológico en el cual los recursos y los esfuerzos se desperdician, en forma que no se compadece con las necesidades de la sociedad.

Sin embargo, la actual coyuntura colombiana es muy importante. El proceso de apertura nos colocó en el escenario mundial, planteó la necesidad de competir en pie de igualdad con quienes producen el conocimiento y la tecnología basada en este saber; con quienes produjeron la profunda revolución en nuestras formas de entender la disponibilidad y la forma de explotación de los recursos. Nuestra industria y forma de vida deben modernizarse rápidamente en un proceso en el que las ineficiencias deben ceder el paso a procesos basados en la investigación básica y aplicada, a la formación de gente al más alto nivel y a la adaptación acelerada para poder participar con más competencia en el nuevo contexto.

La era de transición global en la disponibilidad de los recursos a que se ha hecho referencia coincide con una fase de rápido cambio técnico en todas las áreas del conocimiento, que puede retardar considerablemente el advenimiento de la fase de energía y recursos naturales caros.

Esta revolución científico-técnica ha tenido desarrollos y ciclos en distintos sectores. En las décadas del 70 y 80 hubo avances prodigiosos en la tecnología de la microelectrónica, las ciencias de la información y las telecomunicaciones. Posteriormente, la biotecnología se convirtió en el sector más dinámico, particularmente con los grandes avances científicos de la biología molecular, y se prevé que tendrá un desarrollo aún más acelerado en lo que resta de esta década y en los primeros años de la próxima. De acuerdo con lo anterior, las investigaciones y los descubrimientos del próximo siglo deberán ubicarse alrededor del aprovechamiento de las fuentes energéticas y de los recursos naturales.

La disponibilidad de los recursos naturales, su utilización eficiente en todas las actividades, la planificación visionaria energético-minera y el desarrollo de una capacidad prospectiva en el área, conforman el panorama de cualquier reflexión acerca de lo que en Colombia se debe investigar en los próximos años, no solamente para resolver los problemas presentes del sector energético y aumentar la eficiencia y racionalidad global de la explotación de los recursos naturales, sino para prepararnos a construir el conocimiento y la capacidad creativa que el país debe tener a finales de la próxima década en materia de energía y de recursos naturales en general.

## EL RETO DE LOS FINALES DEL SIGLO XX Y LOS COMIENZOS DEL SIGLO XXI

### Visión internacional

La energía y la minería ocupan un lugar especial en todos los análisis económicos, sociales y ambientales. Es variable obligada en la formulación de estrategias dirigidas a reducir la contaminación ambiental y a prevenir el calentamiento del planeta.

Estos dos sectores son tan determinantes en el desarrollo de los países, que grandes recursos y numerosos centros de investigación en todo el mundo, dedican esfuerzos considerables a la innovación de tecnologías capaces de abastecer los requerimientos energéticos y mineros, a la vez que a preservar el ambiente.

Es innegable que el uso indiscriminado y *torpe* que de los recursos energéticos ha hecho el mundo en general y los países industrializados en particular ha ocasionado el desequilibrio de economías y ha producido conflagraciones internacionales y detrimentos de ecosistemas. Por esta razón, el plan de investigaciones en energía y minería en nuestro país debe partir de un análisis de la situación internacional, de una evaluación de sus fortalezas y debilidades, con miras a identificar las estrategias capaces de insertarnos adecuadamente en el contexto internacional.

### *Aumento en la producción y en el consumo*

En 1988, el consumo mundial de energía primaria ascendió en 3,7% y actualmente continúa mostrando un curso de espiral ascendente. La utilización del petróleo, por ejemplo, se elevó en un 3,1%<sup>1</sup>, recayendo sobre Estados Unidos casi la mitad del consumo entre los países desarrollados. Adicionalmente, a pesar de ser reconocido como un recurso finito, el

1. *Recursos mundiales: una guía del ambiente mundial*. Informe del Instituto de Recursos Mundiales; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Oxford. 1990.

petróleo sigue siendo el combustible más empleado a nivel mundial y el 40% de la energía primaria consumida en el planeta proviene de él.

El carbón ocupa un segundo lugar entre las fuentes de combustible, al proporcionar cerca del 30% de la energía empleada a nivel mundial. Según cifras del Banco Mundial<sup>2</sup> entre 1987 y 1989 su uso se incrementó en un 3,7%, a pesar de que a este recurso se le debe gran parte de la contaminación de bióxido de azufre y bióxido de carbono. Tal afirmación puede verse disminuida al confrontarse con otros estudios que demuestran que las emisiones de bióxido de carbono provenientes de la combustión del carbón no superan a nivel global el 8% del total de las emisiones, cifra bastante pequeña en comparación con las producidas por los vehículos de transporte con motores de combustión interna<sup>3</sup>: Los países son conscientes de tales dificultades y trabajan activamente en opciones tecnológicas de *purificación de carbón* para la generación de electricidad. La combustión en lecho fluidizado, la gasificación y licuefacción se ponen al orden del día como tecnologías viables desde el punto de vista económico<sup>4</sup>.

El gas natural se convierte cada día más en una fuente energética de gran crecimiento en virtud de su utilización como sustituto del petróleo y de la posibilidad de disminuir los problemas ambientales relacionados con los combustibles fósiles<sup>5</sup>.

El uso del gas natural según las mismas fuentes del Banco Mundial proporciona cerca del 20% de la energía del planeta e incrementó en 4,7% su uso en 1988. Sus más grandes consumidores fueron la Unión Soviética, los Estados Unidos de América y Europa occidental. América Latina ha aumentado considerablemente su consumo y países como Argentina, Brasil y México lideran programas de empleo masivo.

La energía nuclear incrementó su producción mundial en más de un 5% en 1988. Este aumento es en gran medida artificial, debido a que refleja la terminación de reactores cuya construcción fue iniciada desde hace varios años.

No obstante la producción de los Estados Unidos y de la Unión Soviética, el panorama mundial de la energía nuclear se ha visto considerablemente restringido como consecuencia del accidente de Chernobyl. Este ocasionó una baja en la demanda de construcción de nuevos reactores y es previsible que disminuya la capacidad de generación nuclear en casi todos los países.

2. *Ibid.* p. 179.

3. David Reinstein. "El carbón en el contexto energético colombiano", en *Energética*, revista de estudios energéticos. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, septiembre de 1991.

4. La gasificación de carbón y la combustión en lecho fluido están en vías de ser comercializadas internacionalmente y es probable que durante las próximas décadas sean adoptadas de modo gradual, conforme las utilidades hagan posible la rehabilitación de las plantas generadoras y el aumento de su capacidad.

5. La combustión del gas natural sólo arroja aproximadamente la mitad del bióxido de carbono emitido de la deflagración de una cantidad equivalente de carbón tipo comercial.

Sin embargo, las futuras limitaciones de recursos fósiles (petróleo y gas), alteran el panorama anterior.

La energía hidroeléctrica proporciona casi el 7% de la demanda energética mundial (su uso se incrementó ligeramente en 1988). Los países que más la utilizaron fueron Canadá y Estados Unidos de América.

No obstante la creciente polémica sobre los daños ecológicos que ocasiona su generación, ésta se configura como recurso renovable y de incremento futuro a pesar de los elevados costos que representa su utilización en usos distintos a la iluminación y la fuerza motriz.

### *Reservas de recursos energéticos*

Para el final de la pasada década las reservas de petróleo se calculaban en 128 mil millones de toneladas métricas, de las cuales más del 70% se hallaban en poder de los países miembros de la OPEP. Sin embargo, se han incrementado las reservas probadas en los países no miembros de la organización petrolera mundial pero esta cantidad sólo representa un 17% del suministro mundial.

China posee el 16% de las reservas de carbón, mientras que Estados Unidos y Rusia el 25% cada uno. Como ejemplo de la enorme abundancia de este recurso, se puede señalar que las reservas probadas de carbón solamente de los Estados Unidos son un 43% más elevadas que las reservas mundiales sumadas de petróleo y gas natural.

Los depósitos más grandes de gas natural se encuentran en Siberia con alrededor del 38% de las reservas totales, y en los países del Medio Oriente pertenecientes a la OPEP, que en su conjunto poseen aproximadamente el 30%. América Latina reúne el 6,1%, lo cual la hace importante respecto a sus posibilidades de utilización en uso doméstico e industrial.

La energía hidroeléctrica es un recurso potencialmente vasto en los países en desarrollo. Hacia 1980 América del Norte y Europa desarrollaron su potencial hidroeléctrico en gran escala, en un 59% y 36% respectivamente, mientras que América Latina sólo el 8%. No obstante este incremento es posible la reducción de nuevas instalaciones tanto por preocupaciones financieras como ambientales. Muchas naciones, particularmente aquellas de poca industrialización, están instalando unidades hidroeléctricas en pequeña escala, las cuales no suelen estar conectadas con redes centrales de distribución, sino que se utilizan para apoyar labores agrícolas o para suministrar energía a poblaciones aisladas.

Las fuentes energéticas renovables ocupan más espacio cada día en los balances energéticos de los países donde alcanzan cifras hasta del 5% de la energía primaria (Australia, Austria, Canadá, Dinamarca, Suecia y Suiza).

Debido a su potencial incalculable y a la enorme preocupación relacionada con el efecto ambiental de los combustibles fósiles, los recursos

renovables pueden convertirse en un elemento importante del panorama energético mundial si se adoptan políticas que favorezcan su crecimiento.

## **Perspectivas de investigación en los campos energético y minero a nivel mundial**

### *Energía*

Además de las tendencias ya mencionadas, se pondrán en práctica políticas tendientes a mejorar la eficiencia en la utilización de los combustibles fósiles y a ampliar el espectro de fuentes disponibles en la búsqueda de una mejor relación con el ambiente.

En Estados Unidos, por ejemplo, se está analizando la producción eléctrica en su conjunto y las opciones para ahorrar energía, con miras a minimizar los costos totales de consumo. Algunos países europeos empiezan a subsidiar desarrollos solares para su instalación en el tercer mundo y ponen en práctica proyectos que en el mediano plazo disminuyan la contaminación del petróleo y del carbón.

A comienzos del próximo siglo se sustituirán sustancialmente los hidrocarburos y se incrementará la utilización de la energía solar y otras fuentes alternativas.

Entre las tecnologías previstas como competitivas para el año 2000 se encuentran: las bombas de calor, utilización de crudos pesados y esquistos bituminosos, el empleo de la energía geotérmica y de calefacción solar, la refrigeración solar, los combustibles sintéticos del carbón y el desarrollo comercial de automóviles eléctricos.

Es previsible que al final del presente y a comienzos del próximo siglo la licuefacción y la gasificación del carbón sean procesos técnica y económicamente viables. También se aumentará la operación de los sistemas autónomos a mediana y pequeña escala, donde no sólo se utilicen las fuentes no convencionales de energía sino además la cogeneración y la operación de sistemas de conservación de energía.

La concepción de una planeación integrada será el escenario metodológico donde participen las diversas fuentes energéticas y converjan varias disciplinas en una problemática económico-socioambiental.

### *Minería*

La minería del carbón y del petróleo tiende a la robotización. Ya se observan labores mineras de tipo subterráneo y a cielo abierto en donde las estrategias de mecanización se acercan a los sistemas autónomos. La misma tendencia se observa en recursos mineros no energéticos tales como roca fosfórica, minerales de níquel, hierro, bauxita y cinc.

La recuperación de oro de veta se intensificará en los países desarrollados y se automatizará la obtención del oro de aluvión en los subdesarrollados.

El incremento en el uso de los minerales silíceos en los nuevos materiales favorecerá la explotación y refinación de los mismos. Sin embargo, solo muy pocas compañías a nivel internacional tendrán las tecnologías y los recursos necesarios para emprender los grandes proyectos mineros.

### *La preservación del ambiente: un reto mundial*

A pesar de los beneficios que traen para la humanidad los recursos energético-mineros, ellos son los principales causantes de la degradación ambiental.

La explotación, producción y uso de los minerales energéticos y no energéticos y de las fuentes fósiles de energía (petróleo, carbón y gas natural) contaminan el aire y el agua, y producen la lluvia ácida y la emanación de gases que inducen el efecto de invernadero que altera la atmósfera y propicia los cambios climáticos. La energía nuclear y la producida por las centrales y presas hidroeléctricas también deterioran el entorno.

En relación con Latinoamérica, aunque ésta dispone de los recursos naturales que le permiten programar su desarrollo a largo plazo (posee el 3% de las reservas probadas de combustibles fósiles y el 19,5% del potencial hidroeléctrico utilizable; con el 8% de la población del mundo, disfruta del 23% de la tierra arable, del 23% de los bosques, del 46% de las selvas tropicales y del 31% del agua superficial utilizable)<sup>6</sup>, tiene problemas ambientales cada día más apremiantes. La deforestación, el proceso de urbanización acelerado, la contaminación industrial, son fenómenos extendidos y para los cuales no se han puesto en práctica políticas tendientes a prevenirlos o a eliminarlos.

Latinoamérica se ve afectada por los fenómenos de calentamiento del planeta, adelgazamiento de la capa de ozono, precipitaciones ácidas, que degradan el ambiente. Contribuye al calentamiento global de la atmósfera por la acumulación del CO<sub>2</sub> con el 12,9%-14,2%. La producción del clorofluorocarbono y halones es mínima y por consiguiente su influencia en la destrucción de la capa de ozono en términos globales es insignificante.

En cuanto a las fuentes energéticas cada una causa su propio impacto cualitativo, cuantitativo, geográfico y social. Así, por ejemplo, como consecuencia del uso masivo e inadecuado de la leña para cocinar en Latinoamérica, la región se ve afectada por la deforestación, la erosión, la pérdida de germoplasma, el cambio del microclima, la contaminación atmosférica y la disminución de la recarga de los acuíferos.

Por su parte la minería y la industria están asociadas a problemas ambientales tales como la contaminación del aire e hídrica. Esta última está relacionada con la descarga a los ríos de residuos contaminantes

6. Datos tomados del Informe del Banco Interamericano de Desarrollo, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Nuestra propia agenda: "El impacto del deterioro ambiental en la sociedad y en la economía". 1990.

químicos y metales pesados cuyas concentraciones exceden las normas establecidas.

Las represas utilizadas para la generación de energía eléctrica dan lugar al cambio del entorno, extinción de la flora y de la fauna, destrucción de ecosistemas, erosión por sedimentación y deforestación, modificación del flujo de las corrientes de agua, cambios climáticos, etcétera.

Los combustibles fósiles, especialmente el carbón, aportan su cuota de contaminación a causa de la emisión del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{SO}_2$ , lo cual influye especialmente en el efecto de invernadero.

Con miras a minimizar los efectos anteriormente mencionados, los programas de cooperación nacional e internacional deberán tender a: aumentar la eficiencia en la producción y uso de los recursos naturales; investigar sobre la intensificación del uso del gas natural como sustituto de los combustibles tradicionales (petróleo, carbón); fomentar el desarrollo y uso de la energía solar y otras fuentes de energía libres de carbono; optimar la eficiencia energética de las plantas actuales; investigar sobre combustión de carbón mediante su gasificación y posterior quema en turbinas de ciclo combinado y combustión en unidades presurizables de lecho fluidizado. Es importante para Colombia, poseedora de reservas considerables de carbón, introducirse en los problemas de su licuefacción y en la búsqueda de un mayor valor agregado del recurso. Para el transporte, causante de altos niveles de contaminación urbana, las investigaciones deberán tender a la optimación en el ahorro de combustible y en la limpieza de los combustibles utilizados.

Los proyectos bilaterales y multilaterales de investigación deben enfocarse hacia la resolución de problemas de mutuo interés, tales como el aprovechamiento de las cuencas y ecosistemas compartidos, las precipitaciones ácidas, la seguridad ecológica, el destino de los residuos tóxicos, la pérdida de la biodiversidad, la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento climático global, el riesgo nuclear y el uso del espacio exterior.

Sólo con la ayuda de la ciencia y la tecnología, la formación y el estímulo de los recursos humanos capacitados, la integración y el fortalecimiento del sistema regional científico-tecnológico, es posible defender la existencia del planeta y elevar la calidad de la vida de sus habitantes.

### **Visión nacional: presente de la investigación sobre recursos energéticos y mineros**

Colombia es un país con ricos y variados recursos energético-mineros que la caracterizan en el contexto mundial y sobre todo en el ámbito latinoamericano.

Las fuentes de energía primaria, las no convencionales, las provenientes de las hidrotermoeléctricas y de los combustibles fósiles, le han permi-

tido al país autoabastecerse y en los últimos años pasar de importador a exportador de petróleo crudo, carbón y algunos de sus derivados.

En el campo de los recursos minerales cuenta con yacimientos importantes de níquel, cobre y metales preciosos, entre otros. Son notables los depósitos de calizas, yesos, mármoles y rocas fosfóricas.

La contribución de los recursos mineros, incluidos los hidrocarburos, a las exportaciones representa cerca del 40% de las divisas del país, porcentaje que supera a los que provienen por concepto del café y otras exportaciones menores.

Ciertamente, en el campo de la energía y la minería el país en las últimas décadas ha avanzado comparativamente con respecto a otros sectores productivos. Se han construido refinerías, oleoductos, centrales termo e hidroeléctricas. Sistemas de explotación minera modernos extraen las materias primas y el nivel técnico alcanzado por los ingenieros es satisfactorio. Sin embargo, al lado de estas realizaciones se encuentran en el atraso, abandono y obsolescencia la mediana y pequeña minería que contribuyen a que la balanza de pagos del país sea positiva.

Los avances alcanzados, fundamentalmente, se deben a la importación y trasferencia de tecnologías y, en menor grado, al desarrollo tecnológico y a la innovación nacional.

Convenios de cooperación internacionales y nacionales han propiciado la interacción de entidades productivas con los institutos de investigación y con las universidades. Colciencias estableció convenios con Carbocol, ISA y Ecopetrol para la realización de proyectos de investigación de utilidad para las empresas y para el país, los cuales han empezado a dar sus frutos. Vale la pena mencionar el convenio Carbocol-Colciencias constituido como Fondo Nacional de Investigaciones en Carbón —Fonic—, orientado a promover el desarrollo industrial, tecnológico y científico del sector carbonífero nacional. A través de este convenio se han asignado más de mil millones de pesos y se han financiado proyectos a diferentes universidades e institutos de investigación. Entre ellos podemos mencionar: la fabricación de briquetas cilíndricas para utilizarlas en zonas rurales; la evaluación y selección de la tecnología más adecuada para la gasificación de carbón, con el objeto de evaluar las posibilidades de sustitución de hidrocarburos líquidos por gas de mediano poder calorífico en el sector industrial de la región; la construcción de una planta piloto para la producción de gas a partir de carbón por pirólisis primaria para el suministro de pequeñas poblaciones apartadas; la construcción de hornos de solera para el mejoramiento del proceso de producción del coque y la preparación de mezclas densas carbón-agua (*slurries*) para utilizarlas como sustituto de hidrocarburos. Así mismo, el Fonic apoya investigaciones relacionadas con la carboquímica, como por ejemplo sobre el proceso de hidrogenación del carbón.

El convenio ha contribuido a la adecuación de laboratorios, a la consolidación de un grupo de investigadores colombianos y a la búsqueda de un mayor valor agregado para el recurso. Además, se ha considerado la investigación del impacto ambiental como parte constitutiva del programa. El Fonc ha demostrado que es posible la interdisciplinariedad, la interrelación de diferentes grupos de investigación y la estrecha vinculación universidad-industria.

El Convenio ISA-Colciencias, suscrito en agosto de 1990, destina recursos para el fomento de la investigación de interés para el sector eléctrico como el diseño de líneas de transmisión, el sistema de calidad del sector, la normalización técnica, la unificación de especificaciones técnicas y la homologación de productos, entre otros.

El convenio Ecopetrol-Colciencias contribuye al aprovechamiento cada vez más eficiente y adecuado del sector petrolero y de la industria petroquímica, mediante el desarrollo científico y tecnológico.

Las universidades realizan proyectos en el campo de la alta tensión, entre los cuales se destaca el estudio de las descargas atmosféricas en Colombia y la incidencia de las descargas atmosféricas en la línea Torca-Circo.

En el campo de las fuentes de energía nuevas y renovables, se consolidaron grupos de investigadores que han realizado interesantes proyectos sobre energía solar, eólica, biogás, alcoholes, recuperación de calor, etc. El trabajo ha sido emprendido principalmente por las universidades y por algunas fundaciones. El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología mediante el Decreto 588 de 1991, modificó los estatutos básicos del Instituto de Asuntos Nucleares, IAN, y lo facultó para elaborar y adelantar programas científicos y tecnológicos en el campo de la energía nuclear y en las energías no convencionales, incluyendo el ahorro de energía. Es de esperar que el IAN dentro de su nueva estructura, canalice las investigaciones en energías no convencionales y defina, junto con la Comisión Nacional de Energía, las políticas que permitan su inserción en el panorama energético nacional.

No se pretende desconocer que en Colombia existen investigadores, asesores y consultores ni que se hayan elaborado programas de planeamiento energético-mineros. Sin embargo, los resultados en la práctica, no han rendido muchos frutos. En la mayoría de los casos, resolvieron problemas a corto plazo, puntuales, sin estrategias que plantearan soluciones a largo plazo. Las instituciones pretendieron resolver los problemas de investigación y desarrollo tecnológico cada una por su lado, sin tener en cuenta la interrelación de sus actividades y el objetivo integral de la nación.

En cuanto al desarrollo minero, el país tiene experiencia en la gran minería del carbón y de níquel en cerro Matoso. Para estos proyectos los sistemas de explotación, transporte y beneficio de minerales están a la altura de la tecnología utilizada en los países industrializados e incluyeron estudios para la conservación del ambiente. No ocurre lo mismo con las

explotaciones mineras a menor escala, realizadas sin estudios previos, tecnología apropiada ni asesoramiento técnico adecuado. La minería en estas condiciones propicia el uso inadecuado de los recursos mineros, la contaminación de las aguas, la erosión, la destrucción de la fauna, de la flora y del ecosistema.

A pesar de los logros enumerados, si pensamos en el papel que la ciencia y la tecnología han desempeñado en el campo de la energía y la minería, tenemos que reconocer que ha sido limitado.

Las instituciones de investigación nacionales son frágiles, la consolidación de grupos y la formación de nuevos investigadores ha sido difícil. La obsolescencia de los programas académicos de pregrado y postgrado, la deficiente información, la incomunicación entre los centros de investigación entre sí y con los núcleos internacionales, la pobreza de su cobertura y la insuficiencia en la trasmisión del conocimiento, son factores, entre otros, que han impedido la consolidación de la ciencia colombiana.

### **Una visión futura para la energía y la minería en Colombia**

La guerra del golfo Pérsico, la desmembración de la Unión Soviética y la desintegración del Pacto de Varsovia, entre otros factores, transformaron radicalmente los sistemas energéticos actuales de abastecimiento y de consumo, induciendo a los países a optar por políticas que conlleven el uso eficiente de energía, la conservación y la sustitución de los recursos energético-mineros.

"Para que Colombia pueda poner en práctica una política energética activa debe resolver la pregunta de cómo insertar política en el desarrollo del país, es decir, como un medio conveniente para el logro de objetivos más generales de nuestra sociedad. En este sentido, debe estar capacitada para decidir las mejores opciones de acuerdo con sus propios intereses"<sup>7</sup>. Una aproximación a la resolución del problema tendría que ver con el uso racional, el planeamiento integrado, la conservación y sustitución de los recursos energéticos y mineros.

Aun cuando es posible encontrar nuevos yacimientos y producir grandes cantidades de productos energéticos y mineros, explotar económicamente mediante tecnologías de punta los depósitos que actualmente son imposibles de trabajar, los índices exponenciales de la demanda indican que todas las reservas, al ritmo de consumo mundial, estarán agotadas en las primeras décadas del próximo siglo. En relación con los recursos energéticos, V.E. McKelvey escribe: "La era de los combustibles fósiles, baratos y fácilmente disponibles se está terminando. Se necesitará un tipo superior de ingenio humano para prolongarla y poner en uso otra base de recurso energético.

---

7. A. Del Valle. *Strategic Energy Challenges of Developing Countries*. Mimeo, WEC. 1989.

El tiempo necesario para realizar estas tareas depende no sólo del vigor y la imaginación con los cuales se busquen estos nuevos recursos, sino también de la sabiduría y moderación con que se usen los viejos<sup>8</sup>. Colombia no puede ser ajena a este planteamiento. El Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería reivindica esta posición.

El concepto de uso racional de los recursos no implica que ellos deban permanecer inexplorados o que se deba disminuir el consumo necesario para el desarrollo industrial del país y para satisfacer las necesidades de la población. El uso racional implica el empleo de los recursos cuantitativa y cualitativamente analizados allí donde realmente se necesiten, valiéndose de adelantos científicos y tecnológicos que permitan su ahorro y eficiencia. Con el uso racional, las regiones y sectores marginados que antes no tenían acceso a estos bienes materiales, pueden acceder a ellos y lograr al menos satisfacer las necesidades básicas.

Para la solución de este problema es necesario un planeamiento integrado que involucre modelos de demanda y oferta, modelos económicos y financieros, de impacto ambiental, etcétera. Sólo de esta manera se podrá tener claridad sobre la política y las acciones que se deban tomar en el futuro.

Otra consideración importante es aquella que aboga por la conservación de los recursos naturales, especialmente del petróleo, del gas y de algunos minerales estratégicos.

La conservación puede fomentarse como una disposición gubernamental, como un arma de presión política de los países productores sobre los importadores o a través de la regulación de los precios del mercado, imponiendo techos a la producción y, por tanto, provocando el aumento de los precios reales.

Naturalmente que la planificación integrada propuesta estudiará los aspectos socioculturales, económicos y financieros y científico-tecnológicos de las áreas urbanas y rurales, así como del sector industrial global y determinará la forma y el tipo de suministro energético para cada uno de ellos.

Finalmente, además de los aspectos de planeación y conservación de energía ya señalados, el país debe trabajar en el conocimiento de los diversos procesos físico-químicos, tecnológicos y ambientales, que sean capaces de colocarnos en igualdad de condiciones con los avances científicos internacionales y hacer del sector energético nacional un área competitiva a nivel regional y mundial.

Para lo anterior se requiere la participación de todos los estamentos de nuestra sociedad, especialmente de la juventud, quien debe aceptar como suyo el reto que el Programa de Investigaciones en Energía y Minería

8. Vincent E. Mc Kelvey. *Comentarios en la conferencia internacional sobre administración del uso de la energía*. Tucson, Arizona. 1984.

plantea y vincularse a las tareas de investigación en la búsqueda de un encuentro con la frontera del conocimiento.

## FUNDAMENTOS DEL PROGRAMA

Los fundamentos que se señalan a continuación parten de los lineamientos de política dados por Colciencias en ciencia y tecnología.

### **El programa se concibe como un ámbito de preocupaciones científicas y tecnológicas**

El avance del conocimiento, de las disciplinas científicas y técnicas, de las metodologías de investigación, pero sobre todo de una visión integradora para el análisis de problemas, han demostrado que el trabajo científico no se puede adelantar como tarea de grupos de especialistas por disciplinas. Para comprender los fenómenos (técnicos y sociales), es indispensable el trabajo de grupos interdisciplinarios que actúen en un espacio común de preocupaciones en donde las diferentes concepciones de acercamiento al problema garanticen su comprensión. Concomitantemente no puede limitarse el objeto de estudio por temas, sectores o recursos. Debe, por el contrario, ser mirado de manera integral. Por esta razón el programa será entendido como un ámbito de preocupaciones comunes, con objetivos, metas y tareas fundamentales, adecuadamente estructurados.

Hablar de energía y minería es plantear un universo en el cual hay aspectos íntimamente interrelacionados. El sector energético colombiano cobija a los recursos energéticos sean éstos renovables o no, además de sus diferentes etapas de extracción, refinación, transformación, transporte, consumo y distribución. Incluye igualmente la planeación y fabricación de equipos (bienes de capital) para su aprovechamiento.

Al sector minero le sucede otro tanto: se ha dividido y subdividido para diferenciar su ámbito de trabajo, olvidando a veces que los puntos de contacto con los recursos energéticos (petróleo, carbón, exploración, explotación) obligan a mirarlo con una perspectiva integradora.

El programa propuesto de energía y minería no hace tal división, aborda la investigación científica en la búsqueda de soluciones a los problemas fundamentales de la energía y la minería, que aunque se particularizan al pensar en su uso final, se unifican al mirarse como recursos naturales.

### **La polémica entre *ciencia básica* y *ciencia aplicada***

Esta vieja discusión entre fomentar el *conocimiento por el conocimiento* o el *conocimiento para solucionar problemas prácticos y algunas veces inmediatos* ha sido matizada de mil formas por los planificadores de ciencia y tecnología en los últimos años.

Se han ideado y puesto en marcha modelos que privilegian la ciencia básica y otros que lo hacen para la ciencia aplicada. También se conocen estrategias que combinan los dos aspectos, como se ha realizado en los países del sudeste asiático.

"La discusión pudo tener interés académico en el pasado y en América Latina ha sido repetida muchas veces; pero, en nuestros días, cuando disminuye velozmente la distancia entre los más esotéricos descubrimientos de la ciencia y su aplicación práctica, cuando las grandes multinacionales desarrollan investigación de punta y patentan o guardan los resultados de sus conocimientos, cuando la revolución electrónica, la biotecnología, la informática y la de los nuevos materiales se consolidan con fuerza poderosa y, en menos de una década, han transformado de nuevo cualitativamente el mundo, sin que sea fácil darnos cabal cuenta aún de todo lo que estos cambios representarán en la calidad de nuestra vida futura, en las formas culturales, en el intercambio económico, la discusión entre *ciencia básica* y *ciencia aplicada* es estéril. No cabe ninguna duda: dada la manera en que se está conformando el mundo, el principal recurso con el que se contará en el futuro será el conocimiento". Lo importante es garantizar que el espacio en el cual se ponen en contacto el trabajo en ciencia básica y ciencia aplicada sea de colaboración mutua y de enriquecimiento conjunto.

Para el caso de nuestro país no debemos olvidar que sólo es posible asimilar tecnología si se posee una buena base teórica, que el haber privilegiado lo aplicado dejando a un lado lo *básico*, ha producido ese sustrato desigual que hoy tenemos y que, como no somos una isla, nuestra investigación también tiene que plantearse bajo estrategias internacionales.

El Programa en Energía y Minería tomará muy en cuenta lo antes señalado, para que los estudios que como parte de él se realicen tengan un profundo amarre teórico que posibilite los adecuados desarrollos tecnológicos, tal como lo indica la experiencia de los países desarrollados, según la cual sólo se asimila tecnología localizándose dentro de un ambiente propicio a la moderna cultura de la creatividad científica.

### La energía y la minería requieren distintas ciencias y disciplinas

Cumplir las exigencias de calidad, prontitud, efectividad y continuidad de los servicios energéticos o suministros mineros, requiere el adecuado manejo de todas las etapas de los procesos, así como también el conocimiento detallado de los diversos fenómenos físico-químicos que los gobiernan.

Es así como el desarrollo de ciencia básica, de nuevos materiales (metálicos, cerámicos y poliméricos), de procesos biotecnológicos, tanto en la

9. José Luis Villaveces C. *Ciencia y tecnología para una sociedad abierta*. Colciencias y el Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Tercer Mundo Editores. 1991.

minería y la energía como en el control ambiental, tienen que darse a la par de los nuevos avances tecnológicos, la adaptación de tecnologías, la normalización, la metrología, el control y la certificación de calidad.

El avance de la investigación energética y minera sólo podrá darse cuando ésta se considere como el cruce de diversas disciplinas científicas, áreas temáticas y recursos naturales.

### **La escogencia de prioridades**

La concepción de un sistema de ciencia y tecnología abierto, no excluyente, construido de tal forma que toda actividad de ciencia y tecnología, independientemente de toda institución o persona que la realice entre a formar parte suya, permea toda actitud programática.

Esto hace que la investigación sea libre, que se desarrolle dentro de una sana competencia por los recursos de calidad y pertinencia.

Así mismo, la apertura comercial en la cual ha ingresado el país exige el abandono de las normas rígidas, puesto que el éxito de la actual política económica reside en nuestra flexibilidad ante las oscilaciones de un mercado internacional que no se mueve únicamente dentro de sanas leyes de oferta y demanda.

Un programa de ciencia y tecnología no puede fijar de antemano prioridades inflexibles, debe proporcionar mecanismos de libertad y amplitud, que para el caso específico, estarán sujetos a la dinámica de la comunidad investigativa nacional e internacional, bajo los criterios éticos y de calidad señalados.

Un programa de ciencia y tecnología en energía y minería debe orientar criterios para sus prioridades bajo lineamientos de planificación estratégica.

### **Visión a largo plazo**

Naturalmente que los resultados de la propuesta de ciencia y tecnología que presenta Colciencias no podrán verse a corto plazo. Se trata de la consolidación de verdaderos núcleos de investigación que impulsen en forma generalizada los procesos de innovación en todos los sectores productivos.

En este sentido el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería se suma a la doble tarea que se ha propuesto el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, al intentar encontrar soluciones, donde el proyecto a largo plazo pueda coincidir con los requerimientos de los inmediatos.

Esto se verá reflejado en las áreas temáticas que serán sugeridas posteriormente al intentar que los temas y grupos de investigación se conformen con mirada a largo plazo pero que en su trajinar puedan dar soluciones a problemas cotidianos de la energía y la minería.

## Lo social: una mirada indispensable

La ciencia es una actividad social. Los desarrollos científicos y tecnológicos deben hacerse con la comunidad o pensando en ella. La búsqueda de un equilibrio entre ciencia y sociedad es el tema obligado de todo programa.

Es necesario dotar al programa de este componente. Se mirará el entorno social y económico, no sólo de proyectos científicos y tecnológicos futuros, sino también de desarrollos tecnológicos *ex post*, en la búsqueda de completar la visión integradora que debe tener cualquier empresa que se realice en lo energético o minero.

Es igualmente necesario abrir la mirada al ambiente. Al introducir este componente en el programa energético-minero debe hacerse pensando también en lo social, es decir, no se trata de análisis ambientalistas sino de realizar desarrollos y análisis integradores e interdisciplinarios que hagan mimesis acertada de la realidad.

## ESTRATEGIAS DEL PROGRAMA

El Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería forma parte integral de las metas esbozadas en el documento "Ciencia y tecnología para una sociedad abierta"<sup>10</sup>; orienta sus esfuerzos, entre otros objetivos, hacia el propósito nacional de internacionalización de la ciencia y la tecnología colombianas. Para ello debe desarrollar diferentes estrategias:

### Formación de una sólida comunidad científica

Los diversos diagnósticos realizados en Colombia sobre ciencia y tecnología<sup>11</sup> coinciden en señalar que la comunidad científica vive una situación de aislamiento, de baja productividad, que son precarios los medios físicos y los equipos de los cuales dispone y que realiza escasas publicaciones.

De los contados grupos existentes en el país, muy pocos se han consolidado. La mayoría son embrionarios y su trabajo no se ejecuta en forma continuada. La noción de *grupo de investigación* presentada por José Luis Villaveces<sup>12</sup>, se da en contadas excepciones: "... Sugiere naturalmente la presencia de varios individuos: investigadores, técnicos y administradores quienes constituyen la fuerza de trabajo; sugiere la existencia de un conjunto de instrumentos, de una biblioteca o, más generalmente, de un acervo documental y de una forma de financiación que permita su acción. El grupo de investigación maduro no necesita tener su existencia formalizada y ni siquiera debe estar adscrito a una sola institución".

10. *Op. Cit.*

11. Una fuente interesante para conocer tales diagnósticos es el informe de la Misión de Ciencia y Tecnología.

12. *Ciencia y Tecnología para una Sociedad Abierta*. p. 38.

Para dar respuesta a esta situación, el programa se plantea dos mecanismos: consolidar una comunidad científica a partir de los grupos existentes y constituir y consolidar redes regionales, nacionales e internacionales.

Para el primer caso, los esfuerzos realizados por Colciencias, el Icfes, las empresas privadas, las universidades y los organismos internacionales han permitido adelantar ejercicios de investigación que, sin lugar a dudas, sirvieron de embrión a los grupos de investigación en diferentes áreas; lo que falta es convertirlos en verdaderos grupos de investigación.

El segundo mecanismo consiste en hacer de la tarea científica una acción colectiva, a través de la conformación de redes regionales, nacionales, e internacionales. Estas no siempre deberán ser institucionales, también podrán ser no formales, de intercambio de información, equipos, personal especializado, etcétera. Es tarea de Colciencias, a través del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, armonizar el funcionamiento de estas redes.

La consolidación de la comunidad científica que requiere el país en el campo energético minero presupone además la realización de algunas actividades, que se han discutido en diferentes foros nacionales tales como la creación de doctorados, fomento a la participación en programas de posdoctorado, especializaciones, pasantías y seminarios a nivel nacional e internacional.

La experiencia de los países que desde hace mucho tiempo crearon los programas de doctorado demuestra que éste es el mejor mecanismo para el planeamiento, promoción y ejecución de la investigación científica y constituye la estrategia de continuidad, consolidación y extensión de los grupos de investigación.

A través de la consolidación de los grupos de investigación nacionales e internacionales, de su cooperación y comunicación, de la realización de proyectos conjuntos y de las condiciones propias de cada universidad, se pueden crear a corto plazo, doctorados en algunas áreas, cuya posibilidad se veía lejana. En energía y minería podría pensarse en áreas como la biotecnología, nuevos materiales, carboquímica, electroquímica, potencia eléctrica, planeamiento energético entre otros, apoyándose en los doctorados ya establecidos.

El financiamiento de proyectos de investigación en el área energético-minera deberá orientarse hacia los programas que aglutinen grupos interdisciplinarios, a apoyar el trabajo de investigadores de reconocido prestigio y a fomentar la capacitación e intervención de jóvenes investigadores que demuestren estar encaminados a alcanzar los estándares de calidad y pertinencia. El Estado colombiano, además de un programa de becas y estímulos para los investigadores en formación y para los productivos, debe apoyar económicamente a las universidades en la búsqueda de su excelencia académica y administrativa y, a través de mecanismos especialmente

diseñados, crear las condiciones y los estímulos para que la empresa privada recurra cada vez con mayor entusiasmo al sector académico y participe sin reticencias en la financiación de la investigación científica e innovación tecnológica, que les lleve a niveles de competitividad en relación con las empresas extranjeras de su mismo quehacer industrial.

### **Incorporación de la ciencia a la planeación integrada de la energía y la minería**

El desarrollo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería exige una visión prospectiva que facilite la identificación de objetivos y líneas de acción para la modernización de la sociedad y debe plantear el escenario energético-minero, al cual orientar la actividad científica y tecnológica nacional.

La necesidad de disponer de un suministro energético confiable, oportuno y de mínimo costo que permita la asignación óptima de las diferentes fuentes para satisfacer determinados usos, unido a la reciente preocupación por la sostenibilidad del desarrollo, hace que en los procesos modernos de gestión de los recursos energéticos se otorgue especial énfasis al desarrollo de metodologías y herramientas de planificación integrada, tendientes a alcanzar un uso racional y un suministro eficiente de energía.

Los esfuerzos de planificación energética global tuvieron su inicio en el estudio nacional de energía y continuaron con las bases para la formulación de una política energética integral. Sin embargo, estas tareas no se han dado de una manera continua y sistemática que facilite la acumulación del conocimiento generado y el avance hacia la consolidación de una actividad integral de planificación en este campo.

La reciente creación de la Comisión Nacional de Energía ha puesto en ejecución un sistema integral de política y planeamiento energético, que ofrece para el sector buenas perspectivas.

Una de las estrategias propuestas en el programa de investigaciones es la consolidación de un sistema técnico que proporcione una visión integradora de la energía y la minería a nivel nacional y que establezca criterios para el planeamiento energético y minero que garanticen la competencia de los recursos naturales con un último objetivo: satisfacer las necesidades de la sociedad.

Concebida la planeación de los recursos naturales como estrategia fundamental para el programa, es conveniente precisar posibles líneas de acción que al ser adelantadas conjuntamente con el sector industrial público y privado permitan crear planes y políticas para el desarrollo de los recursos y la satisfacción de las necesidades del país.

Entre las líneas de acción se podrían mencionar: desarrollo de metodologías y herramientas integrales para el manejo global de la problemática

energético-minera, de sus interacciones con el ambiente y otros sectores de la economía y la sociedad: incorporación de las dinámicas sectoriales y regionales (urbanas y rurales); consideración de los aspectos de demanda y de los patrones de consumo.

La planeación de las fuentes energético-mineras es base fundamental para la utilización futura y adecuada de los recursos; por tanto, debe incorporar lo más avanzado de la concepción teórica moderna y el estado del arte del conocimiento en nuevos materiales, fuentes energéticas y formas eficientes de transformación y conservación de los recursos.

### **Dominio sobre el conocimiento científico y tecnológico en energía y minería**

La estrategia de apoyar investigaciones fundamentales teóricas se apoya en la necesidad de consolidar desarrollos tecnológicos con una adecuada base científica. En el país esto no se ha realizado satisfactoriamente. Tal manifestación se observa, a manera de ejemplo, en la inapropiada selección de materiales utilizados en la construcción de reactores, plantas piloto, equipos de laboratorio, etcétera. En la mayoría de los casos presentan fallas que ocasionan su destrucción. No se tuvieron en cuenta los estudios de transferencia de calor y de materia ni los termodinámicos y fue olvidada la cinética de las reacciones involucradas en los procesos, así como también los problemas electroquímicos que éstas presentan.

Un mayor conocimiento sobre el plasma y el láser, así como sobre los procesos a altas temperaturas y el comportamiento de los materiales, hace posible su futura utilización para procesos energético-mineros hasta ahora desconocidos en nuestro medio.

La biotecnología es aplicable no solamente al procesamiento de minerales sino también al control del ambiente y aun a la recuperación de combustibles fósiles, utilizando microorganismos.

Las posibilidades de la robótica en la minería deben contemplarse como alternativa para aumentar la calidad de los productos mineros, y al mismo tiempo generar un avance científico aplicable a otros sectores.

Es necesario apoyar la investigación básica en carboquímica, petroquímica y nuevos materiales; razón por la cual se considera indispensable avanzar en la física del estado sólido, la físico-química, la termodinámica, la simulación de procesos, la separación de fases con membranas y la catálisis, entre otras.

### **Adquisición de un sistema de información, medios de comunicación y de divulgación de la investigación científica y tecnológica**

Gracias a la conformación del Sistema de Informaciones Energéticas, SIE, se intercomunicaron distintos bancos de información y se actualizaron algunas bases de datos creadas por el Estudio Nacional de Energía. Para

el campo minero, a excepción del Geoloc aún no se han realizado esfuerzos sistematizados.

Hacia el futuro sería conveniente contar con un sistema de información energético-minera, al cual tuvieran fácil acceso no sólo las instituciones sino también los investigadores independientes.

Para la divulgación de los resultados de las investigaciones, Colciencias estudia mecanismos tendientes a garantizarla mediante el apoyo de publicaciones de revistas especializadas de alto nivel científico existentes en los países industrializados. Sería deseable que los investigadores colombianos publicaran en ellas, como una forma de internacionalizar la ciencia colombiana.

Es igualmente importante consolidar una revista del sector energético-minero de cobertura nacional que sea un espacio adecuado para la publicación de artículos de información de alto nivel sobre temas de actualidad, de debates relativos a la política del sector y su relación con la sociedad. Esta revista dará cuenta de los avances de la investigación que se realiza en el país y en el exterior y a su vez servirá de orientación a la juventud estudiosa de los problemas energético-mineros.

## CONCLUSIONES

Con el objeto de invitar a la discusión, se dan a conocer los siguientes planteamientos:

- La planeación de las fuentes energético-mineras es base fundamental para la utilización adecuada de los recursos en el futuro. Los errores de planeamiento les cuestan caro a las naciones y a sus gentes. A esta actividad debe incorporarse lo más avanzado de la teoría y el estado del arte del conocimiento en nuevos materiales, fuentes energéticas y formas más eficientes de transformación y conservación de energía y de reutilización de los recursos.
- Es necesario adelantar acciones permanentes que garanticen la formación de una comunidad científica alrededor de proyectos de investigación escogidos, siguiendo criterios de calidad y pertinencia.

La comunidad científica tendrá mayores posibilidades de consolidación si se busca la internacionalización de los programas de investigación dentro de los esquemas de cooperación y una total apertura a la apropiación del conocimiento generado en el extranjero y a compartir conocimientos y experiencias.

- Son escasos los recursos financieros del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Estos deben dedicarse prioritariamente a la investigación fundamental, al desarrollo tecnológico, a la búsqueda de nuevas fuentes de energía, a la teorización de los procesos de planeación.

Aunque el país posee inmensos recursos naturales, su caracterización y cuantificación no pueden ser responsabilidad del Sistema de Ciencia y Tecnología. Esta labor debe ser asumida por las empresas e institutos especializados del Estado, por el sector privado y por asociaciones y corporaciones mixtas que reúnan los recursos y esfuerzos públicos y privados.

Colciencias apoyará decididamente la investigación que el sector privado requiera para adelantar procesos asociativos con el Estado en busca de la utilización racional de los recursos naturales.

- La investigación básica es condición del avance tecnológico del sector energético-minero. Por esta razón el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería propiciará un estrecho vínculo entre el sector universitario y las empresas públicas y privadas y otorgará especial atención a la realización de proyectos conjuntos que permitan la generación de conocimiento pertinente para las necesidades del sector productivo.
- Los grupos de investigación del país deben tener un contacto permanente y una participación más activa, a través de sus investigaciones, en los trabajos de planificación y optimación que realiza la Comisión Nacional de Energía. Son vitales las actividades de investigación que puedan realizar y propiciar Ecopetrol y el Instituto Colombiano del Petróleo, Carbocol, ISA, el Ingeominas y el IAN para que, en asocio con las universidades y el sector privado incorporen la ciencia a las actividades productivas, al planeamiento global de los recursos y al aprovechamiento y utilización de las distintas fuentes en el balance energético nacional.
- La necesidad de adelantar acciones que permitan estar al día con los avances científicos internacionales será un empeño del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería. Para ello se deben fortalecer redes de información, la participación activa en eventos científicos internacionales y la cooperación permanente con grupos científicos avanzados del mundo, Colombia debe constituir antenas de seguimiento y monitoreo del avance del conocimiento internacional para formar parte de la dinámica de la gran corriente del conocimiento que el mundo ha generado en los últimos años en estas materias.
- Los consejeros del programa, en cumplimiento de su misión de orientar los esfuerzos del país para acrecentar e incorporar el conocimiento al desarrollo del sector, convertirán estas propuestas en criterios para la financiación estatal de la investigación y en una gran convocatoria a las universidades, los centros de investigación, las empresas públicas y privadas y al Estado, con miras a preparar al país para las grandes transformaciones y cambios que le depara la evolución de las condiciones de la energía y los recursos en las próximas dos décadas.

## Capítulo 2

# PROPUESTAS PARA UN PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA

ENERGIA Y MINERIA DENTRO DEL PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

*Julio Sampedro Acevedo*

### Introducción

La búsqueda de las fuentes primarias de energía, petróleo, gas y carbón se entrelaza necesariamente, tanto por los sistemas de exploración, como por su naturaleza de recursos fósiles, con el concepto de la actividad minera.

En ambos casos se pretende lograr un óptimo aprovechamiento de los recursos naturales no renovables. Cobijar la energía y la minería dentro de un mismo programa de investigaciones tecnológicas, conduce a la conveniencia de establecer dos campos de acción para las finalidades específicas de un plan de desarrollo:

- Los recursos energéticos.
- Los recursos no energéticos.

### Recursos energéticos

El mercado energético mundial, reforzado en los países industrializados por un componente nuclear y en muchas naciones por el elemento hidráulico para la generación eléctrica, se incrementa constantemente en función de la explosión demográfica y del mejoramiento del nivel de vida. El desmesurado crecimiento del primer factor trae como consecuencia las limitaciones del segundo, especialmente en los países en vías de desarro-

llo. Los precios de los recursos energéticos se convierten en escollo de la economía respectiva cuando estos son escasos y caros, o en tabla de salvación cuando son abundantes y baratos. La inequitativa localización y repartición de las reservas mundiales, sumada a la necesidad de satisfacer los requerimientos de orden industrial o socioeconómico, da lugar al lógico intercambio de productos energéticos.

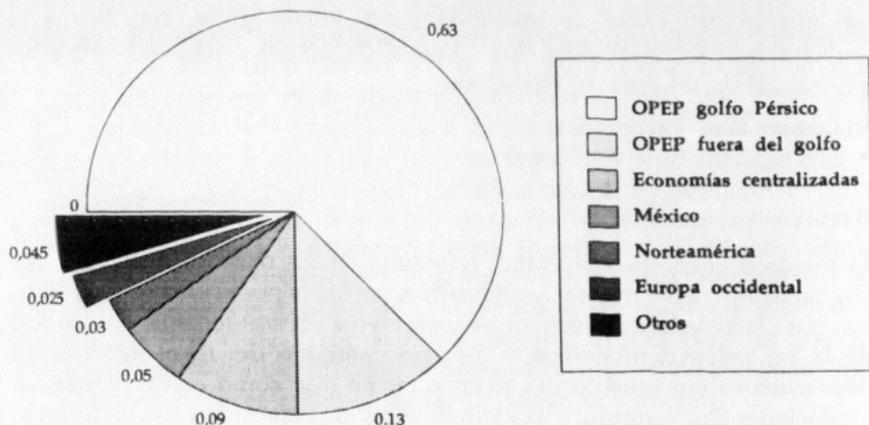
### *Petróleo*

El petróleo domina el panorama del mercado de energía. La política de precios y las fluctuaciones en la oferta y la demanda petroleras determinan los precios de los productos energéticos de competencia. Si la oferta tiende a mantenerse alta, como es de esperarse, los precios del carbón y los del gas tenderán a mantenerse bajos. Colombia no es una potencia petrolera pero puede lograr, con una nueva refinería y con un constante afán exploratorio, el total autoabastecimiento en hidrocarburos y la intensificación de sus exportaciones.

La política petrolera de Colombia orienta sus líneas de acción a la actividad exploratoria. Se pretende doblar las actuales reservas de 1 950 millones de barriles equivalentes de petróleo, con un plan exploratorio que se extiende por lo menos hasta el año 2000. El volumen que se encuentre anualmente debe ser superior al volumen de extracción. La producción diaria gira alrededor de los 400 mil barriles diarios que en más del 45% provienen de la zona productora de Caño Limón.

La construcción de una refinería, con capacidad de 100 mil barriles diarios, debe contribuir a la reducción de importaciones de gasolina, ante la creciente demanda que conlleva el desarrollo del país.

FIGURA 1. Reservas mundiales de petróleo 1990.



El petróleo, dentro del marco energético nacional, es un recurso que, aunque pesa favorablemente en la balanza comercial de hidrocarburos, presenta inestabilidades de futuro dignas de ser investigadas por diferentes programas de ciencia y tecnología.

### Gas

El gas, materia prima energética asociada al petróleo y al carbón, se ha constituido últimamente en objeto de creciente utilización y de gran versatilidad. Su valor radica en el hecho de que su explotación está ligada al petróleo y al carbón y que como tal es un producto muy barato que desempeña un papel importante en los programas sociales de suministro energético económico. La parte costosa del gas se halla en el transporte y la distribución, pero su demanda crecerá por encima del carbón, debido a las enormes ventajas de manejo, limpieza y función social. La costa norte, los llanos Orientales y el Magdalena medio y alto, se erigen como los potenciales suministradores de gas para todo el territorio colombiano. La exploración gasífera y la creación de redes de suministros serán el resto de las actuales y de las futuras tecnologías de Ecopetrol.

La demanda de gas natural en Colombia ha crecido notoriamente a un ritmo del 11% anual en los últimos 15 años y la producción promedio llega a los 375 GBTU, es decir, un equivalente de 63 mil barriles. Sin embargo, las reservas de gas en Colombia apenas constituyen el 1,8% de las reservas latinoamericanas, que en el contexto mundial sólo representan el 5,8%. Las grandes producciones están en EU y Rusia mientras el consumo industrial y domiciliario se expande a ritmo acelerado en todos los países.

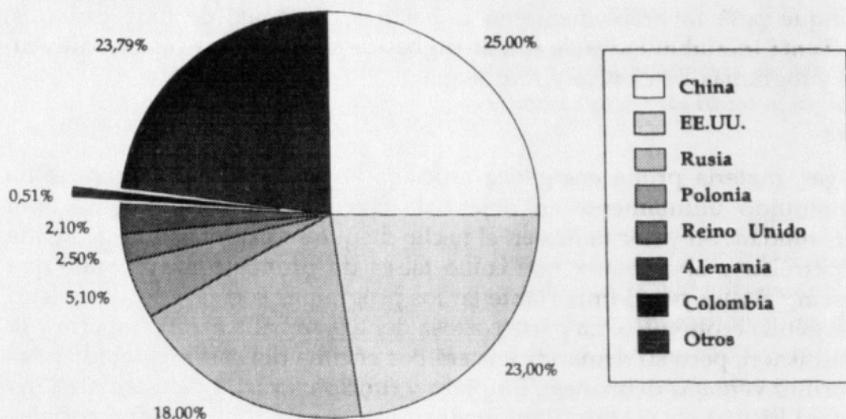
### Carbón

El carbón ha sido y seguirá siendo fuente competitiva del suministro energético mundial. Este recurso natural no renovable adquiere en Colombia singular importancia, por varias razones lógicas:

- Las reservas del carbón colombiano pueden sobrepasar los 25 mil millones de toneladas, de las cuales por lo menos una tercera parte son carbones coquizables que no tienen competencia en el mercado energético de la industria siderúrgica.
- El carbón emerge en el programa minero de Colombia como un recurso que no sólo cubre con creces las incipientes necesidades de una industria en desarrollo, sino que además introduce al país en la lista de los grandes productores y exportadores del mundo. Se abre el paso a la llamada *gran minería de exportación*.
- Ante una producción mundial aproximada de 3 600 millones de t/año, Colombia llega a los 20 millones de t, junto a productores tan importantes como China (1 000 millones), EU (900 millones), Rusia (700 millo-



FIGURA 2. Producción mundial de carbón 1990.



nes), Polonia (200 millones), Reino Unido (100 millones) y Alemania (80 millones).

- Africa y Australia se han convertido en exportadores grandes y al mediano plazo Indonesia y Venezuela se perfilan como posibles competidores.
- Colombia posee hoy el 50% de la producción latinoamericana y podrá tener a finales de siglo el 1% de la producción mundial.

### Otros

Otros recursos minerales no renovables deben ser mencionados en el menú de los elementos energéticos, pero no son en Colombia motivo de preocupación minera. Es el caso del uranio que, por sus aplicaciones y por una hipotética utilización futura en la generación eléctrica, debe continuar siendo objeto de investigaciones.

Las técnicas nucleares aplicables al campo de la medicina, de la agronomía y de muchos otros sectores de la economía, serán igualmente motivo de interés científico.

Las investigaciones nucleares se ampliarán con la adquisición de un nuevo reactor Maple-X10 de 5 MW en el Instituto de Asuntos Nucleares.

### Conclusiones

Todos los recursos energéticos aquí mencionados han despertado el interés del sector gubernamental y en mayor o menor grado son objeto de programas de investigación. El ICP, Instituto Colombiano del Petróleo, el Foníc, Fondo de Investigaciones del Carbón, auspiciado por Carbocol y Colciencias, y el IAN, Instituto de Asuntos Nucleares, dedican sus esfuerzos a la investigación y al desarrollo tecnológico.

Hay un aspecto, sin embargo, que no ha sido todavía revestido de la importancia que merece dentro de los planes de ciencia y tecnología para el sector minero: las técnicas de explotación. Tanto los recursos energéticos como los no energéticos deben ser sometidos a la rigurosa tecnificación de su extracción. La minería del carbón es, sin lugar a ninguna duda, la reina de toda la actividad minera del mundo, por su grado de dificultad, por el riesgo de su explotación, por la complejidad de su planeamiento, por los requisitos de calidad y por su importancia como suministradora de energía. Es precisamente aquí donde cabe enfatizar la necesidad de un *desarrollo tecnológico* que debe iniciarse en las universidades, proseguirse en los institutos de investigación y verse realizado en todas las minas del país. Hay conciencia del enorme potencial carbonífero de Colombia en el ámbito americano y de las excelentes perspectivas en el mercado mundial, pero no se destaca aún la urgente necesidad de tecnificar al máximo la actividad extractiva y garantizar la explotación racional de los recursos. El reto del carbón, en un mercado mundial con producciones y consumos cercanos a los 3 000 millones de t/año, es inmenso y de múltiples facetas.

La competencia en el mercado se hará sobre la base de tres parámetros fundamentales en el campo energético: precios, calidad y seguridad.

### **Recursos no energéticos**

Los recursos naturales no renovables pertenecientes al grupo de los no energéticos, conforman una línea de minerales que cubre el territorio colombiano con variadas y ricas manifestaciones de gran significado socio-económico. La minería metálica y la no metálica reúnen los problemas y las aspiraciones del país en campos diferentes al del carbón; por tanto, se debe comenzar con el análisis de este campo de acción para fijar las prioridades del sector minero dentro de un programa de ciencia y tecnología.

#### *Minería metálica*

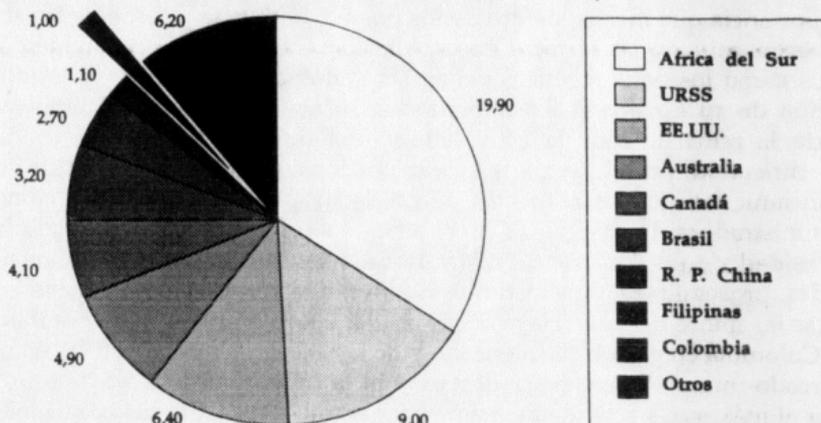
##### *Minería de metales preciosos*

La explotación del oro se realiza en más de 420 municipios que registran ventas al Banco de la República por cantidades que se acercan anualmente al millón de onzas troy (30 t). La generación de divisas remonta ya los 420 millones de dólares y el oro participa con el 12% en el total de exportaciones mineras que incluyen el petróleo y sus derivados.

Los principales departamentos productores son:

Antioquia .....	75%
Chocó .....	10%
Otros departamentos ...	15%

FIGURA 3. Producción mundial de oro (millones onzas troy), 1990.



La posibilidad de aumentar significativamente la producción nacional y sacar al Chocó del estado de subdesarrollo tan marcado, es invertir ordenadamente en el Pacífico colombiano para llegar a una producción registrada de 300 mil onzas troy (oz. t.), proveniente de la minería de aluvión. Esta representa en el país un 85% de la actividad extractora de oro pero es, al mismo tiempo, la actividad más inestable, cuando se habla de los barequeros o mineros pequeños. La población minera es nómada e invasora, el incontrolado deterioro es inmenso y la acción fiscalizadora del Estado es casi nula.

El oro de filón apenas representa el 15% de la minería aurífera y debería constituir, como mínimo el 50%, ya que se trata de la fuente primaria de reservas. Las operaciones subterráneas son pobres y escasas, la asistencia técnica del Ministerio de Minas a nivel nacional es utópica y el desarrollo tecnológico es lento. La producción de bienes de capital es un aspecto que requiere atención inmediata para que la minería de veta pueda despegar.

La recuperación de otros metales preciosos como la plata y el platino sólo se efectúa como explotación de subproductos del oro. Hay necesidad de buscar e identificar las rocas primarias. La plata logra una producción de 200 mil oz.t. en tanto que el platino sólo llega a 25 mil oz.t. sobre reservas que apenas se presumen en cinco toneladas. Colombia es, sin embargo, país privilegiado en materia de platino.

#### *Minería de metales no preciosos*

Cuando se dice que Colombia no es un país minero, comparándolo con países como Perú, Chile y Bolivia, se hace referencia a la minería de metales no preciosos. No existen yacimientos con reservas superiores a los 100 millones de toneladas.

Paradójicamente, la minería del hierro en Acerías Paz de Río y la del níquel en cerro Matoso han sido los baluartes de ciencia y tecnología para las grandes explotaciones subterráneas y a cielo abierto de Colombia.

Sin ser potencia en cobre, Colombia ha tenido prospectos interesantes: La Mina Vieja del Tolima, el Roble y la Equis del Chocó, el Cobre de Mocoa.

Los manganesos de Apía son objeto de inquietudes metalúrgicas y mineras, mientras en Dabeiba y Piedrancha sólo existen expectativas sin suficientes bases científicas de extracción y beneficio.

### *Minería no metálica*

#### *Esmeraldas*

Además de saber que las esmeraldas colombianas son de excelente calidad y que se encuentran en las minas de Muzo, Coscuez, Chivor y Mundo Nuevo, el país tiene conciencia de que este elemento podría constituirse en un renglón tan importante como el oro. Sin embargo, la ciencia y la tecnología no han llegado con suficiencia hasta las zonas esmeraldíferas a pesar de los esporádicos esfuerzos de Mineralco. La génesis de las piedras, las técnicas de explotación, la talla y la comercialización, son temas de investigación que se han convertido en privilegio peligroso de unos pocos. Ni siquiera en el campo de la joyería se ha logrado despertar el interés que se merecen estas piedras, patrimonio cultural y económico del país.

En las esmeraldas, como en las piedras semipreciosas, no se conoce el desarrollo tecnológico, que parece más bien haber despertado el interés en ultramar.

#### *Materiales de construcción*

Colombia produce, por regiones, los materiales pétreos que requiere la construcción, a partir de yacimientos que generalmente dejan algo que desear, por deficiente calidad o por los daños ecológicos de explotaciones hechas sin el debido planeamiento. Las operaciones mineras realizadas sobre materiales de arrastre en las playas o en los ríos, conllevan problemas ambientales y de calidad, además de que tienden a agotarse.

La minería de agregados, lo mismo que la de caliza, yeso, mármoles, talco y similares, se debe desarrollar en yacimientos primarios que cumplan especificaciones de calidad y de técnicas de explotación.

La extracción de las calizas utilizadas para la fabricación del cemento se clasifica ya en el rango de grandes minerías. Las producciones están por encima de las 1 000 t/día/mina y requieren, por tanto, sistemas modernos y competitivos de explotación así como planeamientos a largo plazo.

así como por el descubrimiento del yacimiento petrolífero de Caño Limón. El creciente aporte del sector de minas y energía al PIB nacional y la participación de sus recursos en las exportaciones colombianas, se puede apreciar en las tablas 1 y 2.

- El mejoramiento del nivel de vida del pueblo colombiano, especialmente en regiones mineras de evidente subdesarrollo. El Pacífico colombiano, el bajo Cauca, el sur de Bolívar, el altiplano cundiboyacense, los antiguos territorios nacionales (hoy departamentos) y los territorios indígenas, administran las riquezas de sus explotaciones con una marcada pobreza que tiene su origen en la ausencia de programas educativos y tecnológicos acordes con las circunstancias sociales del medio.
- El suministro de materia prima para la industria nacional es un criterio que establece, por sí mismo, algunas prioridades y se convierte en objetivo de investigación. La minería de los no metálicos se impone en

**TABLA 1.** Producto interno bruto.

Indicadores económicos	Unidad	1980	1985	1990
Producto interno bruto	Millones US\$	28 894	32 521	46 065
Agricultura	%	22,7	21,7	22,8
Minería	%	1,3	2,2	4,8
Industria	%	22,44	21,2	21,38
Otros sectores	%	53,6	54,9	51,74
Importaciones	Millones US\$	4 148	3 673	5 087
Exportaciones FOB	Millones US\$	4 062	3 782	7 024

**TABLA 2.** Exportaciones de origen minero.

		1980	1985	1990
Petróleo y derivados	Millones US\$	26,00	409,00	1.980,10
Carbón	FOB	5,00	124,80	650,00
Oro	FOB	168,0	407,40	420,00
Fe-Ni	FOB		54,60	177,90
Esmeraldas	FOB	69,00	27,00	120,00
Cemento	FOB	24,50	22,70	37,00
Platino	FOB		11,60	16,00
Total minería	FOB	292,50	1 057,10	3 401,00
Total Colombia	FOB	4 062,50	3 782,00	7 024,60
Participación minera	%	7,20%	27,95%	48,42%
Participación carbón	%	0,12%	3,30%	9,25%

los principales renglones de la industria: construcción, cementeras, fabricantes de abonos y fertilizantes.

- La solución concertada de los graves problemas de deterioro ambiental debe ser, igualmente, un criterio común a todos los integrantes del sector minero-energético.

#### *Áreas de investigación*

De acuerdo con el grado de participación en el PIB y con los criterios mencionados en la sección anterior, las áreas de investigación se pueden clasificar así:

Hidrocarburos	Petróleo y gas
Minería del carbón	Térmico y coquizable
Minería de metales preciosos	Au, Pt, Ag
Minería de metales no preciosos	Fe, Ni, Cu
Minería de minerales no metálicos	Sales, esmeraldas, pétreos

#### *Subprogramas de investigación*

Utilizando los criterios y teniendo en cuenta las áreas prioritarias de investigación, se proponen aquí cinco subprogramas, comunes a recursos energéticos y no energéticos. Ellos incluyen los temas que se pueden convertir en proyectos científicos y tecnológicos.

##### *Subprograma de exploración y reservas*

Se orienta a lograr un conocimiento serio del potencial minero del país, tanto en la cantidad de reservas explotables como en la calidad de los productos y sus posibles implicaciones en el mercado. Incluye, entre otros, los siguientes temas:

- Prospección, exploración y evaluación de reservas de metales preciosos en filón (Au, Ag, Pt).
- Evaluación de las reservas de metales no preciosos y su prefactibilidad minera (Cu, Ni, Fe).
- Caracterización de minerales no metálicos, estudios de la demanda nacional y su proyección en el mercado andino.

##### *Subprograma de extracción*

Acoge los temas relacionados con el ejercicio de la actividad minera como industria extractiva, con miras a racionalizar los sistemas de preparación, desarrollo y explotación. Se entiende que la investigación se debe orientar a la aplicación de sistemas en la minería colombiana, haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

- Desarrollo tecnológico en el avance de túneles.
- Mecánica de rocas.
- Empleo de explosivos.
- Sistemas de explotación para minería, superficial y subterránea.
- Racionalización y mecanización.
- Planeamiento minero sistematizado.
- Sistemas de seguridad.
- Ventilación, desagüe y transporte.

#### *Subprograma de procesos y mercados*

La actualización de los sistemas siderúrgicos, metalúrgicos y químicos atañe directamente al beneficio y a la transformación de minerales. Los grados de recuperación, tanto en el sistema de extracción como en el método de beneficio, son temas de investigación. Otros aspectos de importancia dentro de este subprograma son:

- Fundición y refinación de metales preciosos.
- Caracterización y transformación de los carbones.
- Sustitución de hidrocarburos.
- Producción de bienes de capital.
- Estudios de mercadeo para los productos de la minería no metálica en el grupo andino, etcétera.

#### *Subprograma jurídico y ambiental*

El análisis y estudio de los temas jurídicos y ambientales es beneficioso para el desarrollo de una minería incipiente, que en primer lugar debe ser *legalizada* y en segundo término debe ajustarse a las exigencias ecológicas del medio.

La preocupación por el manejo del ambiente es, en la moderna minería, un aspecto necesariamente incorporado al planeamiento de cualquier proyecto.

Los temas ambientales del sector minero-energético no pueden ser tratados de manera aislada, sino en conjunto con los intereses sociales de las zonas afectadas por la explotación de los recursos. En materia ambiental no debe existir la confrontación de las entidades ni la exclusividad de las responsabilidades; por el contrario, se debe buscar la complementación de las tareas y la responsabilidad compartida en la racionalización de las explotaciones.

Los temas de investigación en el campo de la legislación minero-energética son un resultado de los análisis efectuados con posterioridad a la expedición de los códigos de minas y de petróleos. Hay necesidad de aclarar y reglamentar muchos aspectos que impiden el normal desarrollo de las actividades extractivas. La Constitución de 1991 legisla, por ejemplo, sobre

aspectos de tributación por explotación de los recursos naturales no renovables, pero aún no se conocen las técnicas de recaudo ni el destino específico de los dineros.

#### *Subprograma de servicios y de apoyo*

Incorpora todos los temas de investigación dirigidos a servir como herramientas para el desarrollo de la industria extractiva. Los principales puntos de estudio deben ser:

- El sistema de información geológico-minera.
- La capacitación de un banco de expertos.
- La práctica de las consultorías mineras.

#### **Etapas y centros de investigación**

El programa de ciencia y tecnología para el sector de minas y energía debe contar con dos etapas que garanticen su divulgación a escala nacional:

- Una etapa de investigación básica que se origine en centros especializados, en las universidades y en las facultades de Minas y de Metalurgia.
- Una etapa de investigación aplicada que parta de oficinas regionales y que llegue a los sitios de interés en todo el país.

Para lo anterior es necesario que se cumplan dos condicionamientos de carácter político: la creación de instituciones dedicadas a la investigación y la descentralización de las actividades de desarrollo tecnológico.

En el estudio preliminar realizado por Colciencias para el sector minero, se propuso que el Instituto de Investigaciones de Geología y Minas fuera el encargado del Programa de Ciencia y Tecnología, bajo el auspicio de Colciencias y con la colaboración de institutos y universidades.

Se propuso igualmente que las oficinas regionales del Ingeominas y del Ministerio de Minas y Energía aunaran esfuerzos y establecieran conjuntamente centros de estudio e investigación mineros.

Ingeominas, dentro de la reforma de estatutos realizada por la actual Dirección, prevé la puesta en marcha del área de investigaciones mineras.

## PROCESO DE PLANEAMIENTO INTEGRADO DE LA INVESTIGACION EN ENERGIA Y MINERIA

*Fanor Mondragón P.*

### **Introducción**

Las consideraciones básicas en un proceso de planeamiento integrado de la investigación en energía y minería son de carácter nacional pero deben responder a los requerimientos que se originen en la planeación regional,

debido a que las necesidades de investigación y desarrollo en estas áreas son muy diferentes en cada una de las regiones colombianas. De esta manera se busca que la solución a los problemas sea de *abajo hacia arriba* y, al mismo tiempo, tener en la planeación regional una guía para las prioridades de la investigación. Esta idealidad se hace difícil de materializar en nuestro medio debido a la falta de estudios regionales energéticos.

El objetivo del presente artículo es planear delineamientos generales de los proyectos de investigación para tener en cuenta en la elaboración del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería. Los temas se presentan de una manera global sin hacer distinción entre la investigación básica y aplicada, ya que se requieren ambas para el desarrollo integrado de los recursos existentes en cuanto a energía y minería se refiere.

Posteriormente, el artículo sugiere la forma como se podría adelantar de una manera más eficiente la investigación aplicada (en donde podrían estar incluidos la consultoría y la contratación) para que ésta pueda cumplir su objetivo en el desarrollo industrial colombiano.

El artículo no incluye el diagnóstico de la situación energética y minera del país ya que ésta se ha presentado claramente en varios documentos (ver, por ejemplo, *Colombia siglo XXI, una aproximación al futuro*). Tampoco analiza la situación de los investigadores colombianos, dado que este tema ha sido discutido ampliamente en los documentos de Colciencias.

La presente propuesta considera los siguientes temas:

- Subsector hidrocarburos.
- Subsector carbón y gas.
- Subsector metales, piedras preciosas y nuevos materiales.
- Subsector electricidad.
- Subsector fuentes no convencionales de energía.
- Aspectos operativos para el desarrollo de la investigación aplicada.

### **Subsector hidrocarburos**

Investigaciones recientes muestran que aun con el nivel de exploración actual, será difícil mantener el carácter de exportador neto de hidrocarburos del país más allá del año 2005. Por tanto, buena parte de las necesidades investigativas en esta área están orientadas a fomentar la capacidad tecnológica y administrativa en el campo de la exploración.

Se requiere capacitar científicos y adelantar actividad investigativa en exploración sísmica, geofísica, geoquímica y de interpretación geológica para disminuir la dependencia tecnológica de las compañías extranjeras.

En términos generales, otros aspectos para considerar son:

Investigaciones sobre el aprovechamiento óptico de crudos pesados, actividad que tiene un alto componente de investigación básica en el área

de nuevos materiales, especialmente en el desarrollo de catalizadores de poro grande y de compuestos laminares.

- Investigaciones básicas y aplicadas en el desarrollo de energéticos con base en la utilización de crudos pesados, por medio de tecnologías de emulsiones de baja viscosidad.
- Diseño y construcción de plantas piloto para evaluación de diferentes procesos de la industria petroquímica.

Es importante para el subsector de los hidrocarburos propender a la realización de investigaciones conjuntas con científicos venezolanos, quienes tienen bastante experiencia en muchas de estas áreas y disponen de muy buena infraestructura de laboratorios. La realización de congresos conjuntos podría ser un buen inicio.

### **Subsector carbón**

En los próximos años el país estará exportando alrededor de 30 millones de toneladas de carbón y dependiendo de las políticas que se adopten a comienzos del próximo siglo, las exportaciones podrían llegar a 60 millones de toneladas anuales. Adicionalmente se presenta como una necesidad urgente el fomentar una mayor participación de este recurso en la balanza energética nacional. En esta dirección se requiere adelantar investigación desde tres puntos de vista:

#### *Aspectos generales e inherentes a la minería:*

- Transporte terrestre del mineral teniendo especial consideración a las formas de prevenir el deterioro ecológico causado por esta actividad.
- Deterioro de las propiedades del carbón durante su almacenamiento en puertos por largos periodos.
- Recuperación de tierras después de extraído el mineral.
- Desarrollo de equipos de seguridad y de ventilación para minas de carbón y otros minerales.
- Transporte interno del carbón en minas subterráneas.
- Manejo, negociación y proyección de megaproyectos carboníferos y mineros.

*Como fuente energética:* el carbón ocupa un puesto destacado en el consumo mundial de fuentes primarias de energía debido a las políticas de diversificación adoptadas por los países desarrollados después de la crisis del petróleo. El uso principal es en la combustión. Sin embargo, en los últimos años el carbón enfrenta presiones significativas en su contra debido al impacto ambiental que ocasionan los subproductos de la combustión. Se espera que parte de estos problemas se puedan resolver utilizando nuevas tecnologías. Por tanto, para las empresas exportadoras es importante contar

con la asistencia de personal altamente calificado que conozca las últimas tecnologías y el comportamiento de los carbones colombianos en cada una de ellas. De esta manera se puede mantener una alta capacidad de negociación del carbón colombiano en el mercado internacional.

Algunas de las investigaciones para considerar serían:

- Caracterización fisicoquímica, que incluye la caracterización estructural del carbón y la estandarización de todos los métodos requeridos para el análisis del carbón, del gas y sus subproductos.
- Características de combustión y de gasificación de los carbones colombianos en los diferentes procesos tradicionales y nuevos existentes en el mercado. Es importante poder comparar el grado de contaminación de los carbones y otros extranjeros de características similares a los nuestros.
- Investigación básica y aplicada en sistemas de control de contaminación antes y después de los procesos de combustión y gasificación del carbón.
- Usos y/o disposición de los residuos sólidos de la combustión y gasificación del carbón.
- Mezclas carbón-agua y carbón-aceite y evaluación de su comportamiento durante el transporte y la combustión.
- Producción de briquetas a partir de carbones de alto y bajo contenido de azufre. Las investigaciones en este tema son de gran importancia debido a que de esta forma el carbón es una fuente alterna de energía que puede contribuir a la solución del problema ecológico causado por el gran consumo de leña que hay en Colombia.

*Usos no energéticos:* los usos no energéticos del carbón están dominados básicamente de la producción de coque. Colombia es el único país en Latinoamérica con reservas apreciables de carbón coquizable. Existen metodologías desarrolladas para utilizar parcialmente el carbón térmico en la producción de coque; sin embargo, en Colombia no se conoce el comportamiento de nuestros carbones en este tipo de mezclas. Los otros usos no energéticos del carbón están en etapas de desarrollo y es importante fomentar la investigación básica requerida para el desarrollo y apropiación de estas tecnologías en Colombia.

Algunas de las áreas de investigación son:

- Producción de coque a partir de mezclas de carbones, con énfasis en los procesos no contaminantes.
- Producción de carbón activado de alta calidad.
- Producción de electrodos utilizando productos derivados del carbón y del petróleo.
- Producción de compuestos de alto valor agregado a partir del gas natural.

- Aspectos básicos sobre la producción de gas de síntesis a partir del carbón y del gas natural.
- Aspectos básicos sobre pirólisis del carbón.
- Aspectos básicos sobre la licuación directa del carbón.

### **Subsector metales, piedras preciosas y nuevos materiales**

En el caso de los minerales, diferentes al carbón y al níquel, en Colombia no existen estimativos de reservas ni tampoco políticas de desarrollo del subsector.

El Consejo Nacional de Investigadores se encargará de fomentar la ciencia y tecnología de los minerales preciosos y nuevos materiales dándole primordial importancia a la utilización de los minerales metálicos y no metálicos existentes en el país, para que sean utilizados en productos de alto valor agregado.

Áreas de investigación para tener en consideración:

- a. Aspectos relacionados con la minería
  - Investigaciones geológicas y geoquímicas en la prospección de minerales
  - Investigación básica y aplicada sobre procesos de beneficio de minerales que no causen deterioro del ambiente.
  - Investigaciones sobre purificación de aguas provenientes de procesos de cianuración.
  - Investigación sobre la reforestación de suelos después de la minería.
- b. Aspectos relacionados con la utilización
  - Investigación y difusión de técnicas sobre el tallado de piedras preciosas y diseño de joyas.
  - Investigación básica y aplicada tendiente a mejorar la extracción de metales a partir de los minerales que los contienen.
  - Desarrollo de aceros de alta calidad resistente a la corrosión.
  - Investigación básica y aplicada en la producción de compuestos organometálicos del níquel.
  - Cerámicas.
  - Materiales compuestos (composites): cerámica-cerámica, cerámica-carbono, cerámica-vidrio y carbono-carbono.
  - Conductores eléctricos, semiconductores y superconductores.
  - Aislantes térmicos.

### **Subsector eléctrico**

En este subsector la investigación estaría orientada a:

- Fomentar los estudios de alternativas de sustitución de electricidad por otros energéticos. Las tecnologías existentes para generar energía eléctrica a partir del carbón son comerciales y económicas.

- Desarrollar equipos de alta eficiencia energética.
- Buscar materiales para optimar la conducción de energía eléctrica.

### **Subsector fuentes no convencionales de energía**

En este subsector, paralelamente con la capacitación de científicos colombianos es necesario buscar asistencia científica y técnica en los países con experiencia en el manejo de estas fuentes de energía. Actualmente existen países que tienen proyectado remplazar a comienzos del próximo siglo hasta un 10% de sus necesidades energéticas con energía eólica.

Las investigaciones para considerar en el subsector serían:

- Sistemas de colectores solares, metálicos y no metálicos, los cuales tendrían gran potencialidad en algunos sectores de la costa atlántica.
- Sistemas fotovoltaicos para suministro de energía eléctrica.
- Diseño, construcción y ubicación de turbinas para la utilización de la energía eólica.
- Diseño y construcción de digestores sencillos para la producción de gas a partir de la biomasa, que puedan ser utilizados en el campo colombiano.

### **Priorización de los temas de investigación**

La prioridad en los temas de investigación será determinada por una comisión de expertos designados para tal fin por el Consejo de Investigaciones de Energía y Minería y con base en los planteamientos de los planes de desarrollo regionales existentes en el país.

### **Aspectos operativos para adelantar la investigación**

La investigación en Colombia se ha desarrollado básicamente en los centros de investigación existentes en las universidades, los cuales deben ser fortalecidos en los nuevos planes de investigación del gobierno colombiano para que puedan continuar desarrollando sus objetivos. Los temas investigativos planteados en la presente propuesta tienen componentes de investigación básica e investigación aplicada.

En opinión del autor del presente documento, la investigación básica se puede adelantar en los centros existentes en las universidades, mas no la investigación aplicada, debido a que las instituciones donde existen los centros de investigación no están en condiciones para adelantarla. Por tanto, es necesario crear un espacio donde ésta pueda funcionar, lo cual se puede lograr estableciendo un instituto avanzado de investigación en ciencia y tecnología de energía y minería.

El instituto será el eje central y unidad motora del avance científico en las diferentes áreas de investigación. Es importante tener en cuenta las experiencias de éxito que se han logrado en otros países con el estableci-

miento de institutos avanzados de investigación, los cuales además de liderarla han servido de puente para la transferencia de tecnologías a la empresa privada. Los objetivos de los institutos deben ser flexibles para que se acomoden a las exigencias del desarrollo industrial.

El instituto tendrá las siguientes funciones:

- a. Prestar servicios de asesoría y análisis a la comunidad pública y privada.
- b. Realizar primordialmente investigación aplicada en su área hasta nivel de planta piloto, cuando las circunstancias lo merezcan.
- c. Servir de centro de capacitación y actualización de los profesionales del sector público y privado.
- d. Adelantar programas de postgrado en colaboración con las universidades.
- e. Fomentar la investigación con universidades y centros de investigación y desarrollo a nivel nacional e internacional.
- f. Prestar servicios de asesoría y consultoría en lo referente a transferencia y adecuación de tecnologías.
- g. Posibilitar la realización de investigaciones exploratorias en pequeña escala y por corto tiempo, tendientes al establecimiento de empresas que requieran asistencia científica y técnica (incubadora de proyectos).
- h. Publicar a nivel nacional e internacional los resultados de sus investigaciones.
- i. Establecer planes y políticas de capacitación para su personal científico.

La dirección del instituto estará a cargo de científicos activos de las más altas calidades académicas e investigativas en el área, quienes podrán pertenecer a empresas privadas o a universidades. La coordinación de los diferentes laboratorios de cada instituto estará a cargo de científicos especializados en cada tema.

### **Financiación**

Los institutos serán financiados conjuntamente entre el sector privado y el gobierno a través del establecimiento de fondos de investigación en cada uno de los subsectores con aportes de Colciencias y de las empresas interesadas (similares al Foncic). Para facilitar la participación de la industria privada se establecerán incentivos fiscales tales como la deducción como gastos de la totalidad de las contribuciones hechas a las universidades e institutos de investigación.

### **Comités nacionales de investigación**

Se propone la creación de comités nacionales de investigación en cada una de la áreas: petróleo, carbón, gas y nuevos materiales. Estos comités agruparán a todos los investigadores de las universidades y de la empresa privada y servirán de mecanismo para la divulgación de las actividades del Consejo

de Investigación en Energía y Minería a través de comités regionales. Tendrán a su cargo, entre otras actividades, celebrar congresos nacionales en cada una de las áreas y promover propuestas de investigación científica y desarrollo tecnológico de acuerdo con las necesidades de cada región.

## INVESTIGACION EN ENERGIA Y MINERIA

*Hernando Díaz Morales*

### Introducción

En este artículo se hacen algunas reflexiones acerca de la estructuración de un programa de investigación en las áreas de energía y minería. Los puntos de vista expuestos representan la opinión personal del autor, aunque se han nutrido de conversaciones y discusiones con varios colegas.

La exposición presenta un sesgo hacia el sector de energía en general y el subsector de electricidad en particular. Esta situación no refleja una falta de interés o importancia de los temas que se han tratado en forma somera, sino que es más bien una consecuencia de la formación y experiencia del autor y en ocasiones de su ignorancia. En esos casos, las recomendaciones aquí presentadas pretenden solamente mostrar algunos campos de acción que han sido ensayados en otras áreas con resultados favorables.

La propuesta incluye no solamente opiniones acerca de los programas y proyectos de investigación, sino además, respecto a las políticas encaminadas a hacer más eficientes esos programas.

El artículo está organizado de la siguiente forma: en la primera parte se hacen algunas consideraciones generales acerca de la investigación en los sectores de energía y minería, sus objetivos generales y los criterios que pueden ser usados para la planificación de los programas de investigación y desarrollo tecnológico. En seguida se considera el sector de energía, para el cual se enfatiza la necesidad de un manejo integrado, con el fin de hacer el uso más eficiente de los recursos. También se presentan recomendaciones para un plan de investigaciones en el subsector de electricidad, además de un comentario sobre el proceso de toma de decisiones para la financiación de proyectos de investigación en el sector. En forma breve se consideran los otros subsectores.

La parte final se refiere al sector minero. Esta sección está basada en el documento de Julio Sampedro mencionado en las referencias al final, además de las opiniones de algunos colegas.

Como complemento, se hacen unas breves propuestas de carácter general acerca de la investigación en ciencia de materiales, en cuanto concierne a los sectores de energía y minería. Mi opinión personal es que la investigación en ciencia de materiales merece un lugar tan importante como el de la energía y la minería, dentro del programa nacional de ciencia y tecno-

logía. Sin embargo, dentro de la organización ya definida, se le debe conceder la mayor prioridad y considerarla como un área temática separada.

### **Marco de referencia**

El problema fundamental en la planeación de la investigación consiste en asignar ciertos recursos escasos que incluyen recursos humanos, físicos y financieros para adelantar proyectos de investigación y desarrollo tecnológico con el fin de maximizar los beneficios obtenidos de esta asignación. Los beneficios atribuibles a un proyecto de investigación incluyen como rubro principal la generación de nuevos conocimientos, tanto de carácter básico como aplicado. Este aspecto debe constituir el objetivo fundamental de todo proyecto de investigación y desarrollo.

La inversión del país durante la última década en el sector de energía representó más de 50% de la inversión pública total durante el mismo período. Por su parte la minería, además de requerir inversiones cuantiosas, es un sector en donde se produce un elevado porcentaje de las divisas del país. Los niveles de inversión involucrados y la importancia de estos sectores para la nación indican que se debe evaluar con mucho cuidado la conveniencia de las decisiones de inversión. La investigación que contribuya al desarrollo de los sectores y a mejora la capacidad técnica y la idoneidad para la toma de decisiones debe tener una prioridad dentro del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología. Es importante que se haga una planeación adecuada de los proyectos de investigación y desarrollo en estos sectores con el fin de optimar las inversiones efectuadas en estas áreas.

La investigación y el desarrollo deben ayudar a resolver problemas de inversión, operación, explotación, etcétera, en el sector de energía y minería.

### ***Requerimientos del programa de investigación***

Un programa de acción para la planeación de los programas de investigación y desarrollo, debe responder como mínimo a los siguientes aspectos: los objetivos del desarrollo nacional y los objetivos de la política energética.

Sin embargo, los proyectos generalmente propuestos para su financiación responden a temas de interés nacional y en ocasiones también a intereses particulares de los investigadores. Es obvio que el interés nacional debe prevalecer, pero no es posible dejar completamente por fuera el interés particular. Esto implica que las áreas de investigación definidas como prioritarias no deben ser rígidas, con el fin de permitir el desarrollo de áreas novedosas pero prometedoras.

Debido a la naturaleza de los sectores energético y minero, se necesitan desarrollos a todo nivel. Es importante que la investigación incluya proyectos a nivel de ciencia básica así como desarrollo de tecnologías, diseños,

proyectos piloto e incluso la implementación de las tecnologías desarrolladas. Deben incluirse también las formas de lograr aceptación y popularización de las nuevas tecnologías.

Teniendo en cuenta la política nacional de ciencia y tecnología, es necesario fortalecer la capacidad científica en las áreas básicas y los procesos de innovación tecnológica. El objetivo final debe ser el mejoramiento de la competitividad a través de la productividad y la calidad. El logro de este objetivo en el largo plazo precisa potenciar los procesos de creación, tanto a nivel de ciencia básica, como de su implantación. La importancia de la generación de nuevos conocimientos no puede ser exagerada y es de vital importancia que el país acometa la tarea de buscar condiciones que garanticen la continuidad de ese proceso.

Es necesario que el programa de investigaciones se centre alrededor de las actividades permanentes de ciencia y tecnología, definidas en la política nacional aprobada por el Conpes. En este documento se tratará de considerar algunas de las actividades definidas como permanentes, en relación con el establecimiento de una política nacional de investigaciones en energía y minería.

En el área específica de energía y minería, la política de ciencia y tecnología propone adelantar programas conducentes a propiciar el uso racional de la energía. Así mismo, se debe buscar una mayor participación del carbón y de las fuentes energéticas nuevas y renovables en el balance de energía nacional, al tiempo que se impulsa la carboquímica.

En el área minería, el programa concede prioridad a la investigación y desarrollo que permita mejorar los métodos de prospección y explotación.

### **Factores que influyen en la formulación de un plan**

La asignación de prioridades para la investigación debe tener en cuenta los siguientes factores con el fin de lograr un mejor desarrollo:

1. Consultar los objetivos de desarrollo económico y los objetivos de desarrollo del sector energético.
2. Tener metas (programas) de largo plazo.
3. Basarse en un proceso de decisión integrada donde se toman en cuenta los diversos sectores y subsectores, además de las interacciones entre ellos.
4. Estimularse los equipos de investigación interdisciplinarios y los grupos ya formados.
5. El efecto de la incertidumbre que afecta las decisiones se debe tener en cuenta mediante una política de selección basada en escenarios, con el fin de tomar en cuenta diversas situaciones que pueden modificar las ventajas comparativas de un proyecto de investigación o desarrollo con respecto a otros.

### Objetivos de la investigación

De acuerdo con el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología y con los lineamientos de política energética y minera se pueden enunciar los siguientes objetivos para un programa de investigación en las áreas de energía y minería:

1. Contribuir al desarrollo nacional a través de la investigación y desarrollo en energía y minería, mediante la optimación de recursos, inversiones, etcétera.
2. Desarrollar el sector minero y energético, mientras se protege el ambiente y se asegura la conservación de los recursos renovables.
3. Establecer o consolidar planes de investigación y desarrollo a largo plazo, asegurando una buena calidad de estos programas y apoyando decididamente los grupos de investigación que demuestren resultados positivos.

### Investigaciones actuales en energía y minería

Durante los últimos años se han llevado a cabo múltiples eventos en los cuales se ha analizado la situación actual de las investigaciones en diversas áreas. Por otra parte, ha sido frecuente la realización de estudios de diagnóstico sobre diferentes aspectos de los sectores de energía y minería.

A partir de ellos, se presentan algunos aspectos que pueden ser de interés, cuando va a formularse un programa de prioridades para la investigación:

- En el sector de energía se cuenta con recursos humanos capacitados y con experiencia. Colombia ha sido uno de los primeros, a nivel latinoamericano, en la realización de estudios tendientes a la formulación de programas de planeamiento energético integrado. Sin embargo, estos estudios no han conducido a estructuras organizacionales adecuadas y eficaces en la práctica.
- Los programas de investigación actuales carecen, en general, de metas de largo plazo, así como de coherencia.
- Algunas áreas han logrado desarrollos puntuales muy importantes, pero puede decirse que, en conjunto, nuestras investigaciones han sido escasas y poco productivas.
- Las investigaciones dirigidas a la optimación de los sistemas de utilización de la energía, se han encaminado hacia la solución de problemas relativamente puntuales y de pequeña escala, dejando a un lado temas que podrían tener una importancia estratégica mayor. A este respecto debe mencionarse la falta de colaboración entre las entidades del sector de energía y las universidades con los fabricantes de equipos tales como electrodomésticos, etcétera.
- En el área de recursos energéticos no comerciales, ha faltado estímulo a la investigación, la fabricación y la implantación de equipos para su aprovechamiento.

- Exceptuando la gran minería de exportación, el desarrollo del sector minero ha sido escaso y las investigaciones se han reducido a dos o tres centros de importancia (11). Además, los temas de investigación se han limitado a unas pocas áreas.
- Como es tradicional en todos los sectores y regiones del país, también en el sector de energía y minería las cuestiones ambientales han merecido muy poca atención. En muchas ocasiones se hacen estudios de impacto ambiental después de decidida la ejecución de un proyecto, o se hacen recomendaciones que raramente se cumplen. Lo mismo puede decirse de los problemas sociales creados por los grandes proyectos energéticos y mineros.
- Dentro del panorama mundial, nuestras investigaciones tienen muy poca trascendencia o difusión aunque se dan algunas excepciones notables.

### **Investigaciones en el sector de energía**

En primer lugar se considerarán los temas de investigación relacionados con el sector de energía en general y posteriormente se presentan los temas específicos de cada subsector.

La política actual de desarrollo del sector de energía tiene como objetivos principales los siguientes (2,3):

- Garantizar la suficiencia energética del país.
- Fortalecer los vínculos del sector de energía con los otros sectores de la economía, de la sociedad y del ambiente.
- Consolidar un sistema moderno e integrado de suministro de energía.

De acuerdo con estos lineamientos de política energética se considerarán a continuación algunas áreas que requieren investigación para satisfacer estos objetivos.

#### *Planeamiento energético integrado*

Uno de los instrumentos fundamentales para la selección de acciones encaminadas a la implantación de políticas energéticas es el sistema de planeamiento energético integrado, el cual pretende establecer planes y políticas para el desarrollo del sector de energía, tratando de lograr el mejor uso posible de los recursos energéticos, mientras contribuye al desarrollo nacional a través de la competitividad económica, calidad de vida, etcétera.

El planeamiento energético integrado requiere herramientas apropiadas que permitan evaluar el efecto de diversas acciones de política bajo diferentes escenarios macroeconómicos, tanto nacionales como internacionales. Así mismo, requiere disponer de la información necesaria para los diferentes modelos y herramientas usados en el planeamiento.

Dada la importancia que el planeamiento energético integrado reviste para el logro de los objetivos de eficiencia y suficiencia en el sector energético, las actividades relacionadas con él deberían tener una alta prioridad en un programa de investigaciones en el sector de energía y minería. Entre estas actividades se pueden contar las siguientes:

- Modelos de demanda energética, globales y sectoriales.
- Modelos de oferta de energía e impacto ambiental.
- Modelos de requerimientos económicos y financieros de alternativas de planeamiento.
- Técnicas de optimización multiobjetivo para satisfacer la demanda en la mejor forma posible, considerando restricciones de tipo económico y financiero y diversos objetivos: beneficio, impacto ambiental, etcétera.
- Obtención, difusión y manejo de la información técnica e histórica necesaria para el planeamiento energético integrado. En particular, la ampliación y el fortalecimiento del sistema de información energética.

Como parte del proceso de planeamiento energético se debe promover la realización de estudios acerca del impacto de las políticas de integración subregional a nivel latinoamericano.

#### *Racionalización de la estructura de la demanda*

Este tema comprende todas las opciones destinadas a hacer un uso racional de las diferentes fuentes de energía. Deben considerarse aspectos como:

- Programas de sustitución y conservación de recursos energéticos.
- Desarrollo de tecnologías para el uso eficiente de la energía, de acuerdo con los tipos de proceso, las condiciones locales, etcétera.
- Programas de gestión de la demanda.

#### *Economía energética*

Las relaciones económicas que rigen el sector energético (oferta y demanda) y sus interacciones con otros sectores de la economía deben revestir particular importancia en un programa de investigaciones. También deben considerarse los aspectos financieros, los cuales incluirían:

- Estructuras de costos del sistema energético.
- Precios y tarifas.
- Herramientas de política energética.

#### *Educación y diseminación de información*

Se deben fomentar los proyectos orientados hacia la identificación de estrategias de educación a la población, especialmente a nivel regional, acerca de los usos eficientes de la energía.

La divulgación de los resultados de las investigaciones realizadas en Colombia debe ser una actividad prioritaria de programa de investigaciones en energía y minería. Adicionalmente, se debe hacer realidad la creación del sistema nacional de información científica y tecnológica en las áreas de energía y minería.

Con respecto a este tema, se debe conceder especial atención a la dotación y actualización de por lo menos una hemeroteca con una colección muy completa de publicaciones periódicas en el área respectiva. Esta fuente primaria de información puede ser más útil (o por lo menos más económica) que la conexión y el acceso a las bases de datos y redes de información, tal como ha sido propuesto (15). No se trata de desconocer la importancia de esos medios sino de reconocer que la principal forma de intercambio de información sigue siendo el medio escrito y todos los demás deben ser considerados como complementarios a éstos y no como posibles sustitutos.

Una actividad indispensable para el fortalecimiento de los programas de investigación es la capacitación de los investigadores y de las personas que van a utilizar sus desarrollos tecnológicos.

### **Subsector de electricidad**

Durante los últimos años, las actividades de investigación en el sector de electricidad han estado orientadas por el subcomité de investigación sectorial de ISA. Esta centralización, consecuencia del convenio ISA-Colciencias, sin embargo no ha resultado en una planeación adecuada de la investigación, debido probablemente a la forma como se han asignado las prioridades para la investigación.

Cada año se les pide a las empresas que especifiquen los problemas que requieren solución o los temas que se consideren prioritarios. A partir de esta lista de problemas se elabora el plan anual de investigación del sector. En el último año se pidió también información a algunas universidades. Naturalmente este proceso no puede conducir a la formulación de planes de investigación a largo plazo. Es de esperar que la nueva estructura del consejo de investigación en energía y minería favorezca un esquema más racional, donde se elaboren planes a largo plazo de acuerdo con las prioridades acordadas por las empresas del sector, las universidades y el sector industrial en el área respectiva.

La experiencia en muchos campos y lugares indica que se requieren planes coherentes con objetivos determinados para que la investigación produzca los frutos que de ella se esperan. Los temas considerados como prioritarios actualmente no reflejan ninguna política de largo plazo, además por encontrarse en una posición subordinada con respecto al tema del control de calidad.

Esto no pretende desconocer la labor adelantada por el subcomité de investigación sectorial, sino llamar la atención sobre algunas políticas de planeación de la investigación.

A continuación se mencionan algunas áreas donde la investigación continuada y a largo plazo pueden dar extraordinarios frutos.

### *Herramientas y técnicas de planeamiento*

En el área de planeamiento se requiere revisar los criterios usados, especialmente para la asignación de los niveles de confiabilidad, los cuales deben adoptarse después de analizar los beneficios y costos asociados con ellos. Sería conveniente que los objetivos de mínimo costo fueran remplazados por los de máximo beneficio neto en todos los niveles.

En el planeamiento de expansión se requieren modelos de planeación de inversiones que tengan en cuenta restricciones de tipo financiero (las cuales ya representan una limitación para los programas de inversión actuales y, probablemente, lo serán aún más en un futuro próximo) y objetivos de protección ambiental. También podrían estimular el desarrollo de la industria nacional si se adoptan planes de expansión con una buena participación de centrales y unidades de capacidad mediana o pequeña. El efecto de esas alternativas debería considerarse en el proceso de planeamiento.

En el planeamiento de sistemas de distribución es preciso contar con mejores herramientas de análisis y evaluación de alternativas. Esta necesidad se verá acentuada en los próximos años, cuando empresas pequeñas, generalmente de carácter municipal o regional, serán las encargadas de distribuir la energía eléctrica.

También se necesitan criterios de planeamiento acordes con la estructura de costos de la oferta y la característica de la demanda. A este respecto se puede mencionar el problema de las pérdidas técnicas de energía las cuales se deben reducir notablemente mediante un planeamiento adecuado.

Es preciso definir cuál va a ser el efecto de las nuevas políticas tendientes a la privatización parcial de las empresas del sector. Opciones tales como la cogeneración se deben analizar dentro de los programas de planeamiento y operación. El soporte legal para estas opciones aún no existe.

Un escenario de competencia en el suministro de energía requiere que el Estado recobre su papel como entidad reguladora. La toma de decisiones para la regulación de las empresas implica la disponibilidad, por parte de las entidades reguladoras, de herramientas de soporte para la toma de decisiones.

### *Operación y planeamiento operativo*

Se requieren metodologías y herramientas para optimar la operación (planeamiento operativo), bajo condiciones de competencia en el sumi-

nistro; esto para poder adaptarse a las condiciones del mercado en un futuro próximo.

En relación con la operación se debe considerar un programa de investigación acerca de las características especiales de los equipos utilizados en el país (transformadores, pararrayos, etcétera.) y de las condiciones ambientales prevalentes (descargas atmosféricas, contaminación, clima, etcétera).

El último punto tiene una gran relación con el control de calidad de aparatos eléctricos.

También es necesario estudiar las especificaciones relacionadas con la calidad del servicio a los usuarios.

### *Caracterización de la demanda*

El conocimiento de la carga es fundamental para establecer políticas de planeamiento y de operación apropiadas.

Se deben incluir temas como los siguientes:

- Crecimiento de la carga (predicción).
- Características estáticas (composición, desagregación, diversidad, etc.).
- Características dinámicas (variación en el tiempo, respuesta a perturbaciones, armónicos, etcétera.).
- Posibilidades de gestión de carga en sistemas de distribución.

### *Infraestructura*

El sector eléctrico planea la instalación de varios laboratorios de alta tensión para los programas de control de calidad, los cuales pueden ser utilizados para el desarrollo de proyectos de investigación en el área de aislamientos y evaluación de nuevos materiales. Es fundamental que se destinen recursos suficientes para su funcionamiento, con el fin de evitar la adquisición de equipos muy costosos que posteriormente son almacenados en bodega sin prestar ningún beneficio.

Estos laboratorios deberían incluir instalaciones para investigar áreas como el diseño de generadores, motores y otros sistemas de conversión de energía que faciliten el desarrollo de aparatos más eficientes en diversas áreas. Los planes actuales parecen dirigidos casi exclusivamente a impulsar el desarrollo de los sistemas de transmisión, con escasa participación de las áreas de generación, distribución y utilización.

### *Fortalecimiento de la industria eléctrica*

Se requiere la participación de las empresas en los programas de investigación y desarrollo. Por otra parte, el sector eléctrico y las universidades deben establecer programas de cooperación técnica con los fabricantes, con el fin de ayudar a mejorar sus técnicas de manufactura, calidad y eficiencia.

Ese tema tiene una fuerte relación con el proceso de gestión de la demanda, puesto que el desarrollo de aparatos más eficientes, por parte de los fabricantes, debe ser el resultado de la cooperación de la industria, las entidades del sector y las universidades.

### *Fortalecimiento del convenio ISA-Colciencias*

En la actualidad este convenio maneja y administra los recursos destinados a la investigación y al desarrollo en el sector eléctrico. De acuerdo con la información divulgada (6), es el Subcomité de Investigación Sectorial, encabezado por ISA, el que determina los programas y proyectos que serán presentados a la consideración del comité técnico y administrativo del convenio para ser financiados.

Otro aspecto sobre el cual se debe llamar la atención es la modalidad de contratación para la financiación. En este momento la financiación de proyectos de investigación se efectúa en la modalidad de contratos de prestación de servicios de consultoría. Esto presenta graves inconvenientes desde el punto de vista de los grupos de investigadores que trabajan en el área: por una parte, limita extraordinariamente la capacidad para adquirir equipos y materiales y, por otra, impone serias restricciones en cuanto al tipo y duración de las actividades propuestas. Se hace necesaria una revisión de esta política, especialmente si se tiene el propósito de consolidar y apoyar a los grupos de investigación ya formados o en proceso de formación.

### **Subsector carbón**

La política energética con respecto al carbón debe buscar los siguientes objetivos (2):

1. Expandir la participación colombiana en el mercado mundial durante la próxima década.
2. Desarrollar la infraestructura de transporte necesaria para la explotación.
3. Apoyar al minero nacional (medianos y pequeños). Se buscará que el 70% del consumo nacional sea atendido por estos productores en el año 1995.

El logro de esos objetivos implica que se debe mejorar la calidad y reducir el precio de los carbones nacionales. También es necesario establecer programas de asesoría para los pequeños y medianos productores. Otro factor importante de la investigación en ese subsector lo constituyen los aspectos ambientales, tanto en la minería como en el uso de los carbones.

Los temas relacionados con la minería del carbón serán tratados en la sección correspondiente al sector minero. Aquí se describirán algunas áreas relacionadas con los usos energéticos del carbón.

### *Áreas de investigación*

Se requiere adelantar investigaciones sobre:

1. Caracterización de carbones nacionales.
2. Beneficio y preparación: modalidades de lavado, pulverización, briquetización y mezclas, con el fin de hacer más eficientes los procesos de combustión.
3. Tecnologías eficientes y limpias de conversión de energía.
4. Coquización.
5. Gasificación
6. Licuefacción.
7. Activación.
8. Aspectos ambientales: productos de la combustión, cenizas, etcétera.
9. Economía de suministro del carbón.

### **Subsector hidrocarburos**

El objetivo principal de la política energética en el sector de hidrocarburos es extender el horizonte de autosuficiencia nacional hasta el año 2000 por lo menos. También se espera elevar el nivel de conocimientos tecnológicos de país en el área de los hidrocarburos (2).

Para el logro de estos objetivos es importante apoyar los programas de investigación tendientes a hacer más eficientes los trabajos de exploración. En esta área se podrían mencionar muchos temas, tales como análisis de señales de tipo sísmico, etcétera.

También se plantea como una opción de política del sector de hidrocarburos, establecer refinerías privadas, las cuales requerirían el estudio de diferentes procesos de refinación, así como el control de procesos y su automatización.

El sector de hidrocarburos puede colaborar en una forma eficaz en los procesos de desagregación tecnológica y de apoyo a la industria nacional en un contexto de apertura. Teniendo en cuenta las inversiones cuantiosas efectuadas y la especialización tecnológica de los equipos utilizados, una política de este tipo podría proveer un fuerte impulso a la industria nacional.

Los aspectos ambientales relacionados con los hidrocarburos también merecen especial atención. Aspectos tales como la emisión de gases y contaminación de cuencas hidrográficas requieren el desarrollo de técnicas eficientes para su control.

Con respecto al gas, se necesitan estudios de tipo económico para el planeamiento de suministros, incluyendo alternativas como la importación, dentro del marco de la integración latinoamericana y el Grupo de los Tres.

## Fuentes de energía nuevas y renovables

Las fuentes de energía no convencionales se caracterizan por una muy baja penetración en nuestro país, tal vez con excepción de la biomasa. El aprovechamiento de estos energéticos se basa en tecnologías generalmente conocidas y desarrolladas, pero con unos costos relativamente altos comparados con los de las fuentes comerciales de energía.

La instalación para el aprovechamiento de estas fuentes de energía requiere inversiones cuantiosas, especialmente por lo exiguo de la demanda. Por otra parte, estas energías tienen que competir con las fuentes tradicionales, fuertemente subsidiadas. La escasa divulgación acerca de las ventajas de estas tecnologías y una falta de confianza en su disponibilidad han sido factores adicionales que limitan la instalación de estas fuentes. La inversión oficial en el área ha sido muy escasa, limitándose a la financiación de algunos proyectos de pequeña escala.

El objetivo de la investigación en esta área debe ser el de aumentar la participación de las fuentes nuevas y renovables en el balance energético nacional, especialmente en regiones apartadas de las fuentes de energía comerciales.

En los planes y políticas energéticas oficiales, las fuentes de energía no convencionales prácticamente no se nombran. Por tanto, es difícil establecer objetivos acordes con las políticas energéticas. Sin embargo, es fácil justificar que las áreas que se mencionen a continuación deben tener una prioridad alta en el programa de investigación.

### *Disponibilidad de recursos*

Se requieren estudios encaminados hacia el desarrollo y adecuación de metodologías para la caracterización y cuantificación de los recursos energéticos en cada una de las áreas y en las diferentes regiones del país.

También se necesitan datos acerca de la utilización que se hace de cada uno de los energéticos y las formas en las cuales se usan.

### *Energía solar*

Los usos de la energía solar se pueden clasificar de la siguiente forma, de acuerdo con el tipo de conversión que se utiliza para su aprovechamiento.

*Conversión térmica:* en esta área se requieren diseños de colectores solares eficientes, materiales, concentradores, etcétera.

*Conversión fotovoltaica:* es necesario establecer programas que mejoren las técnicas de aplicación de este tipo de conversión. También se deben desarrollar los equipos electrónicos de control y acumuladores en forma más eficiente y económica. Esto último puede ser especialmente importante si, como se anunció en días pasados, se han desarrollado tecnologías nove-

dosas de fabricación de los equipos de conversión y voltaica, reduciendo notablemente los costos de producción. Este es un ejemplo de la planeación basada en escenarios. Se pueden desarrollar las tecnologías accesorias y entrenar al personal que instalaría los equipos.

*Arquitectura eficiente:* dada la estructura de la demanda de energía en el país, caracterizada por consumos de tipo residencial especialmente, esta área podría contribuir a hacer más racional la utilización de los recursos energéticos.

### *Energía eólica*

El principal uso de la energía eólica en el país es en bombeo de agua. Se requieren investigaciones para determinar los tipos más eficientes de molinos para esta aplicación. También debe considerarse el desarrollo de equipos para generación de energía eléctrica en zonas alejadas de las redes de distribución.

### *Biomasa*

La biomasa tiene una participación relativamente importante en el balance energético a nivel nacional. Sin embargo, no se han llevado a cabo estudios del impacto ambiental de estos consumos. Tampoco se ha estudiado la eficiencia de conversión.

Algunos temas que podrían ser importantes para el desarrollo de este recurso energético son los siguientes:

- Sistemas eficientes de combustión (estufas).
- Métodos de gestión del recurso, incluyendo técnicas de reforestación, tasas óptimas de consumo, etcétera.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas e industriales.
- Carbonización y briquetización.
- Diseño y construcción de biodigestores para producción de gas y abonos.

### *Pequeñas centrales hidroeléctricas*

Bajo este nombre se incluyen las centrales comúnmente denominadas mini o micro. Este es un recurso que puede revestir una gran importancia para la energización de comunidades remotas o de difícil acceso. Los temas de importancia en esta área incluyen los siguientes:

- Desarrollo de técnicas simplificadas para la evaluación de los recursos.
- Métodos normalizados para el diseño y construcción de las centrales.
- Técnicas de operación y control.
- Metodologías para la recuperación y rehabilitación de centrales antiguas.

### *Divulgación*

Es necesario establecer campañas de educación a la población acerca de la utilización racional de los recursos renovables. Esto es especialmente cierto en el caso de la biomasa y de la hidroelectricidad, los cuales requieren una gestión apropiada de los bosques y las cuencas hidrográficas. Se deben efectuar estudios para determinar las formas más eficientes de diseminación de la información entre la población afectada.

### *Protección ambiental*

La protección del ambiente en todos los proyectos energéticos debe ser un tema de particular importancia. Entre los aspectos prioritarios en esta área están los siguientes:

- Técnicas de evaluación de impacto ambiental de los proyectos de transformación y utilización de la energía.
- Metodologías de control de impactos y gestión de los recursos.
- Manejo de cuencas y bosques.

### *Cogeneración*

Aunque no se trata de una fuente energética diferente a las anteriores, se debe mencionar la generación de energía eléctrica por parte de los usuarios particulares para satisfacer sus necesidades, con la posibilidad de vender sus excedentes en el mercado eléctrico. Es necesario establecer el marco legal y técnico de estos desarrollos.

### *Sector minero*

El principal objetivo del programa de investigaciones en el sector minero debe ser su modernización, incluyendo criterios de eficiencia y productividad en su desempeño.

Otro aspecto importante, desde el punto de vista del propósito nacional, es la autosuficiencia en el suministro de los diferentes minerales, de los cuales el país tiene existencias suficientes.

La modernización y el aumento de la productividad pueden lograrse introduciendo sistemas de mecanización y automatización de los procesos mineros, en cuanto sea posible, especialmente en las labores de explotación. También deben considerarse mejoras en las técnicas de explotación y en eficiencia administrativa.

El propósito de autosuficiencia requiere la intensificación de las labores de exploración, así como mejora en estas mismas técnicas, con el fin de hacerlas más eficientes.

Una de las políticas de desarrollo del sector, congruente con los propósitos del sector energético, debe ser la del apoyo a las empresas mineras de

pequeña y mediana escala. Esto representa un área muy promisoría para la formulación de programas de investigación y desarrollo de tecnología: la creación de herramientas para el soporte de los procesos mineros. Este proceso ha dado buenos resultados en el sector de energía eléctrica, donde se han desarrollado herramientas de *software*, las cuales junto con computadores de bajo costo y buena capacidad, permitirán a las empresas efectuar análisis de alternativas y simulación de escenarios (también se ha logrado la creación de nuevas técnicas de cálculo y la optimación de los cálculos). Estas herramientas para la toma de decisiones podrían ser de mucha ayuda para la minería de pequeña y mediana escala, permitiéndoles la tecnificación y mejora de sus operaciones.

Las áreas prioritarias para la investigación en el sector minero deben ser:

- Técnicas de evaluación de reservas y caracterización de recursos.
- Métodos de exploración para lo cual se necesita fortalecer la investigación sobre:
  - Sistemas de información geológica.
  - Redes de información.
  - *Software* de soporte y análisis.
- Tecnología minera: desarrollo de nuevas tecnologías mineras y herramientas de soporte. También se debe impulsar la divulgación de estas tecnologías entre las empresas y asesoría acerca de su utilización. Los aspectos que deben ser considerados son los siguientes:
  - Prospección.
  - Planeamiento minero. Se deben incluir técnicas de optimación basadas en investigación de operaciones, cartografía y topografía, *software* de soporte, etcétera.
  - Desarrollo y preparación.
  - Explotación.
  - Seguridad minera.
  - Beneficio y transformación.
  - Capacitación.
  - Protección ambiental en los sitios de explotación.

### Nuevos materiales

La ciencia de materiales merece un lugar especial dentro del programa de investigaciones de los sectores de minería y energía. Es de fundamental importancia la investigación en el desarrollo de nuevos materiales asociados con las dos áreas.

Se requiere investigación en materiales utilizados en los sectores de energía y minería. Así mismo se deben estudiar materiales que resultan como producto de los minerales explotados o de sus procesos de conversión.

Una lista tentativa (no exhaustiva), de los temas para considerar en esta área es la siguiente:

- Física y química de materiales, en particular del estado sólido.
- Materiales cerámicos.
- Materiales electrónicos.
- Polímeros.
- Aceites y otros materiales aislantes.
- Corrosión.
- Control de calidad de materiales.
- Metalurgia física y mecánica, etcétera.

Además de patrocinar investigaciones, se debe crear la infraestructura, en términos de laboratorios e instrumentación, para desarrollar programas de éxito de investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de materiales.

### **Propuesta para un plan de acción**

Además de las actividades de carácter permanente, contempladas en el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología, se debería establecer un plan de acción tendiente a fomentar el desarrollo de actividades investigativas de alto nivel, con énfasis en la generación de conocimientos en las áreas de energía y minería.

Algunas acciones que, a mi juicio, deben ser incluidas en el plan de acción son las siguientes:

- Apoyar los grupos de investigación que muestran resultados de éxito y los grupos en formación. Esto implica la necesidad de continuar la financiación de los grupos existentes y considerar la formación de nuevos grupos de investigación, preferiblemente de carácter interdisciplinario.
- Estimular la divulgación de los resultados de las investigaciones que se llevan a cabo en el país, tanto a nivel nacional como internacional.
- Fortalecer los convenios entre Colciencias y otras entidades del sector de energía y minería, tales como Carbocol, ISA, ICP, etcétera, dotándolos de una estructura racional de decisión, en la cual puedan ser oídos todos los sectores —académico, industrial, oficial— y Colciencias tenga participación directa en la asignación de los recursos. Se debe permitir la ejecución de proyectos en modalidades diferentes a la de prestación de servicios de consultoría.
- Apoyar las actividades de creación y mantenimiento de los servicios de infraestructura necesarios para el desarrollo de las investigaciones. Se debe conceder particular importancia a los sistemas de información tanto energética como minera, así como a las redes internacionales de comunicación académica (15).

- Fortalecer la Hemeroteca Nacional con colecciones completas en las áreas de energía y minería. Aunque este punto puede estar incluido en el ítem anterior, se le ha colocado en forma separada con el fin de resaltar su importancia capital para el desarrollo de investigaciones de alto nivel en el país.
- Fomentar la creación y el sostenimiento de grupos de investigación de carácter multidisciplinario y la cooperación entre entidades oficiales, industria y universidades. Esto con el fin de adelantar proyectos a todo nivel, desde los puramente teóricos hasta los de implantación de nuevas tecnologías e incluso el desarrollo de técnicas de manufactura para nuevos equipos.
- Conceder la mayor prioridad a los aspectos ambientales y de conservación de recursos, dentro de un enfoque holístico del desarrollo nacional (12).
- Apoyar en forma prioritaria la investigación en nuevos materiales, contribuyendo a la creación de grupos de investigación y a la consecución de recursos físicos y humanos para adelantar las investigaciones.
- Continuar el apoyo a los programas de capacitación, a diferentes niveles, en el área de energía y minería.

## Referencias

- (1) Beltrán, R., Benavides, J., Navas, F. y Pinilla, A. *Las fuentes nuevas y renovables de energía en Colombia*. Documento preparado para Colciencias por el CIFI, Universidad de los Andes, nov. de 1990.
- (2) Comisión Nacional de Energía. *Una política energética para la apertura económica*. 1991.
- (3) Comisión Nacional de Energía - Grupo de apoyo técnico. *Lineamientos básicos de política energética*. Anexo acta GAT No. 8
- (4) García, C. y Betancourt, F. *Programa nacional de gestión de la demanda y tecnología energéticas*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, dic. de 1990.
- (5) Hernández, G. *El sistema de información energética*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, dic. de 1990.
- (6) Jiménez, J. *La investigación en el sector eléctrico colombiano*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, dic. de 1990.
- (7) Korman, A. *Perspectivas del carbón en Latinoamérica y las necesidades de ciencia y tecnología para su desarrollo*. Memorias I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, Medellín, agosto de 1991.
- (8) Ministerio de Minas y Energía - Carboacol. *Ciencia y tecnología del carbón*. Documento presentado en el seminario - taller sobre Perspectivas del Carbón Colombiano, Sogamoso, mayo de 1991.
- (9) Munasinghe, M. "Energy R&D decision making in developing countries", en *The Energy Journal*, Vol. 8, pp. 147-168, dic. de 1987. (Publicado como Cap. 14, del libro *Energy Analysis and policy*, Butterworths, 1990.)
- (10) Poveda, G. *Programa Nacional de Investigación y Desarrollo sobre Ciencia y Tecnología del Carbón*. Memorias I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, Medellín, agosto de 1991.
- (11) Sampedro, J. *Ciencia y tecnología para el sector minero*. Documento borrador preparado para Colciencias, Bogotá, 1990.
- (12) Sanz, F. *Planeamiento energético global y planeamiento eléctrico*. Versión escrita de conferencia presentada ante el Grupo de Estudios Energéticos de la Facultad de Minas, Medellín, marzo de 1990.
- (13) Sector eléctrico colombiano - Comité para el desarrollo y estímulo de la industria nacional. Sistema de calidad. *Programa de actividades científicas y tecnológicas 1991*. Medellín, enero de 1991.

- (14) Sector eléctrico colombiano - Comité para el desarrollo y estímulo de la industria nacional. Sistema de calidad. *Prioridades en los temas de investigación en el sector*. Medellín, abril de 1991.
- (15) Villaveces J. L. "Ciencia en un contexto de apertura". Capítulo II de *Ciencia y tecnología para una sociedad abierta*. Colciencias, Bogotá, sin fecha.

## LA ENERGIA Y LA MINERIA DENTRO DEL PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

*Fernando Navas*

### Introducción

La energía puede verse como un concepto físico, como un insumo en las funciones de producción del análisis económico, como una red de elementos de infraestructura en el ámbito nacional, etcétera. Aquí queremos verla dentro de un concepto integrativo y como un sector de la *economía* pero entendiendo *economía* en un sentido muy amplio que incluye las realidades sociales, educativas, tecnológicas, de recursos naturales, etcétera, que son pertinentes a la prestación de servicios energéticos y al uso de los llamados energéticos tanto dentro del país, como para la exportación hacia otros (13).

Así, los países pueden tener prioridad en el sector energético o no tenerla pero todos poseen un sector energético que nosotros preferimos llamar sistema energético y que incluye recursos y ambiente, oferta, demanda, tecnología y relaciones macroeconómicas y sociales con el resto del país (entre ellas las financieras) (13,18).

En el caso colombiano la importancia de este sector es más bien clara, tal como lo dicen los índices de participación en las exportaciones, en los recursos naturales y en el problema de la deuda externa. También, y de interés para este trabajo, es importante su participación en actividades nacionales de ingeniería y tecnología, lo cual hace deseable apuntalar su base científica, a través de la investigación.

La minería extrae materiales de la superficie o del seno de la tierra para uso del hombre. Incluye recursos y ambiente, oferta y demanda, tecnologías, industria sobre todo de beneficio y transformación e interacciones macroeconómicas y sociales (1). Es decir, como sistema es deseable concebirla más bien como el sistema nacional de los materiales, del que la prospección y la minería extractiva constituyen primeras etapas.

En este sentido, y dado que los materiales energéticos son objeto de minería y que algunos energéticos pueden usarse como materiales y hasta en más de una manera, no es forzado sino útil mantener parcialmente un paralelismo entre sistema energético y sistema de materiales de un país. En parte se intersectan.

El sistema de materiales de Colombia es suficientemente importante hoy en día al incluir carbón, petróleo y gas, oro y esmeraldas.

Debe notarse además su gran potencial por posibilidad de otros minerales y por aumentos logrables en la explotación de los anteriores (1,17).

En el caso energético se pueden y deben buscar mayores exportaciones. Pero, un objetivo igualmente prioritario, si no más, es que el sistema funcione mejor. Puede pasar de ser un lastre para la nación a una fuente de beneficios netos. (18).

Aquí nos preocupamos de los insumos de ciencia y tecnología necesarios para ello. Actualmente, la minería y los materiales no son un lastre para la nación, sino una oportunidad sin usar en los tamaños y formas deseables (1), la cual puede convertirse en una fuente de beneficios netos muy importante por vía de mayores exportaciones y de mayor valor agregado y calidades en las actuales actividades. Estos aumentos de producción y beneficio dependen de lograr avances en ciencia y tecnología que van desde las de prospección hasta las de consumo.

Los aspectos sociales ya bien conocidos del consumo de energía (5,13) (y en parte de los materiales) y de la producción de minerales como el carbón, oro y esmeraldas (1) (y en parte de la energía) hacen que nos parezca plenamente relevante que la investigación social respectiva se clasifique dentro de esta parte del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología.

Las finalidades que conviene dar a la energía y a la minería son por consiguiente:

- a. La generación de divisas por exportación de productos energéticos y mineros, así como la creación de empresas y empleos que ello conlleva.
- b. El aprovechamiento de los insumos energéticos y materiales en multitud de actividades e industrias.

Estas industrias y actividades pueden producir primordialmente desarrollo económico (incluyendo también exportaciones) y/o bienestar. En otros casos beneficios regionales y ecológicos, desarrollo científico y tecnológico, autodeterminación y prestigio de la sociedad, organización y cohesión social, etcétera.

Es del caso, por tanto, preguntarse por la capacidad de la energía y los materiales en Colombia para la producción de desarrollo y bienestar (y en ocasiones para la producción de los otros grupos posibles). Y también por efectos ecológicos de la producción y el consumo de energía y materiales.

Esa productividad y esos efectos dependerán de las tecnologías de los procesos y de las tecnologías de uso de los energéticos y materias primas, tecnologías que a su vez requieren bases científicas, mediatas o inmediatas.

Hasta aquí hemos mencionado en detalle el aspecto de consumo. El aspecto de oferta incluye el conocimiento de los recursos, su obtención y las transformaciones deseables para llevarlos en forma óptima a la exportación y al aprovechamiento en el país.

Esta forma óptima también debe incluir beneficios regionales, reducción de efectos ecológicos dañinos, obtención de beneficios de desarrollo científico y tecnológico, etcétera.

Debe propenderse a que el cubrimiento de las necesidades de ciencia y tecnología, que van desde el frente de recursos hasta el de consumo y sus efectos, se integre adecuadamente para los energéticos y productos mineros y permita la formación adicional de personas, formación de grupos informativos y cohesión de los existentes y futuros en un sistema orgánico abierto como el que se pretende (14,15).

Este artículo define temas de particular interés para la investigación en Colombia, indicando en algunos casos el estado actual del conocimiento. Se clasifican dichas tareas o áreas temáticas del sector energético-minero (materiales), separándolas parcialmente entre subsectores recursos, explotación, transformaciones y transporte, demanda, consumo, y efectos mediatos del consumo; al interior de estos subsectores se puede separar por fuentes energéticas y por tipos de materiales, aunque no se hace esto en gran detalle en atención a la brevedad deseada. No hay prioridades intra; por el contrario, todos los subsectores deberían desarrollarse análogamente, y esta es la única prioridad identificada hasta ahora entre ellos.

En cada subsector se ensaya definir objetivos de tipo económico nacional, objetivos específicos de ciencia y tecnología y las principales áreas temáticas (no resulta práctico tratar de incluir todas las áreas).

Después se considera el propio subsistema científico y tecnológico del área, y, procurando tomar como base las recomendaciones investigativas mencionadas, se deducen acciones para el desarrollo armónico y fructífero de ese subsistema.

En la última sección se esbozan los elementos del plan de acción que en este punto parece posible identificar para el sector.

## **Subsector recursos**

### **Objetivos**

- a. *Económicos*: conocimiento de los recursos, principalmente en el sentido de reservas, pero también en los aspectos fisicoquímico, económico, geopolítico, etcétera.
  - Ampliación del espectro de fuentes comercialmente disponibles y de minerales comercialmente explotables.
- b. *De ciencia y tecnología*: desarrollo de una capacidad nacional para la exploración que sea consecuente, i) con una mayor independencia nacional para el país en cuanto concierne a sus recursos más abundantes, y valiosos, ii) con la deseable interdisciplinabilidad entre geología, minería y economía, y iii) con las características de los recursos del país.

### *Áreas temáticas generales*

- Desarrollo de capacidad en geofísica, particularmente de hidrocarburos, geología y geofísica de algunos minerales valiosos.
- Aprovechamiento de tecnologías internacionales de sensores remotos y relacionadas.

### *Petróleo y gas*

El ICP había definido un programa llamado de Síntesis de Cuencas para la identificación y el análisis integrado de las trampas más atractivas (3). Esto es muy acertado porque la capacidad nacional no se logra sin una síntesis entre geología, geofísica, computación especializada e investigación operacional. Colombia no ha tenido aún las tecnologías modernas de interpretación, necesarias para encontrar petróleo en cuencas catalogadas como difíciles. Se trata de adaptación de tecnologías, pero de una adaptación muy importante e interesante que llevaría a no depender de compañías extranjeras en este aspecto.

Esta área debería además integrarse con la del análisis de riesgo en exploración. Es un error que esto no lo haga la compañía nacional a través del uso de técnicas modernas, indispensables por las características difíciles del hallazgo de nuestros crudos. Es muy interesante el desarrollo de la capacidad nacional para decidir inversiones de riesgo (exploración) y para evaluarlas y negociarlas para contratos de asociación. Esto implica el uso de modelos estadísticos de riesgo, tanto en conjunción con la interpretación, como para desarrollar mejor las actividades de contratación. No nos referimos a hacer un plan de exploración sino a que el país adquiera, por desarrollo propio, técnicas modernas que permitan mejorar sustancialmente las características de los futuros planes de exploración.

### *Carbón*

Cabe aquí considerar como deseables e interesantes investigaciones que mejoren las tecnologías asimiladas por el país para la caracterización físicoquímica y ecológica de nuestros carbones.

### *Recurso forestal*

Por su importancia dentro del sector energético son deseables las investigaciones que avancen el conocimiento científico general de ese recurso en el cual hay vacíos debido al reducido número de institutos y universidades que lo estudian.

Por otra parte, son interesantes las investigaciones sobre plantaciones energéticas y sobre nuestras especies forestales propias, investigaciones que desarrollen o adapten tecnologías de manejo y lleguen éstas hasta prácticas

máximas de deforestación permisibles y tasas mínimas de reforestación necesaria en nuestros bosques.

### *Fuentes energéticas renovables*

Por una parte existen tecnologías internacionales de sensores remotos que son aplicables en la determinación de potenciales nacionales de algunas de estas fuentes y que esperan su incorporación a las tecnologías colombianas.

Además, son deseables los estudios que integren los aspectos de recursos disponibles, tecnologías posibles y costos para afianzar o rechazar la disponibilidad comercial en Colombia de alguna de estas fuentes.

### *Electricidad y recurso cuencas hidrográficas*

Dentro de los objetivos respetar la dimensión ambiental por parte de las explotaciones energéticas y de valorar el recurso real de la cuenca en los proyectos energéticos hidroeléctricos (y no se plantee sobre un recurso equivocado el *salto*), es necesario desarrollar el conocimiento científico y económico del recurso cuenca, de los impactos ambientales de represas construidas y de las técnicas de análisis y decisión para futuros proyectos, especialmente de propósito múltiple.

### **Subsector explotación**

#### *Objetivos*

- a. Económico: explotación eficiente, de costos controlados, social y ecológicamente aceptables.
- b. De ciencia y tecnología: Adaptación de tecnologías internacionales o desarrollo de tecnologías propias (para algunos minerales), con el fin de mejorar la productividad en la explotación, así como para cuidar los aspectos sociales y ecológicos.

### *Minería*

Son interesantes y muy necesarias las investigaciones que den el conocimiento más detallado de los problemas socioeconómicos de los mineros y sus explotaciones.

Por otra parte, serían muy útiles para el sector minero y el país en general, las investigaciones sobre transferencia y/o desarrollo de tecnologías de ingeniería de minas, que lleven a mejoras en la producción de oro en socavones, carbón y esmeraldas; así como las mejoras tecnológicas en los métodos de explotación que alivien los problemas sociales y ecológicos.

### *Carbón de exportación*

Con buen juicio Carboacol ha desarrollado mejoras tecnológicas para reducir costos y subir calidades; otros proyectos en este sentido serían igualmente valiosos para el país y para avanzar nuestra capacitación en minería de cielo abierto.

### *Petróleo y gas*

El país debe optimar la producción incluyendo técnicas de recuperación secundaria (3). Aquí las tecnologías no siempre están desarrolladas y disponibles a nivel mundial y cada país puede alcanzar su propia variedad. Interesa mucho en Colombia que se dominen las tecnologías para el uso del gas en los campos, para cuando éste sea deseable.

### *Recursos energéticos renovables*

Ver *Subsector consumo, fuentes renovables de energía*.

### *Recursos forestales*

De gran importancia económica y ecológica es el desarrollo o adaptación de tecnologías de manejo forestal, es decir las que hacen posible la conservación simultánea con explotación.

### *Electricidad*

Aquí parece muy atractiva la investigación que conduzca a la apropiación nacional de tecnologías para termoeléctricas, especialmente las novedosas tecnologías limpias del carbón y las de ciclo combinado y cogeneración.

## **Subsector transformaciones y transporte**

### *Objetivos*

- a. Económicos
  - Aprovechamiento integral de los recursos, tanto con fines económicos (valor agregado), como de desarrollo tecnológico e industrial.
  - Ayuda a la asignación racional y óptima de las fuentes a los usos, tanto para energéticos como para minerales y metales.
  - Transporte no sólo económico, sino que además aporte confiabilidad, potencial económico nacional y regional y ventajas geopolíticas (carbón de exportación).
- b. De ciencia y tecnología
  - Que el país desarrolle o se apropie tecnologías de transformación y beneficio de energéticos y materiales que le sean científica y económicamente valiosas.

- Que el desarrollo tecnológico de la transformación y el transporte no continúe retrasado con respecto a los de la exploración y la explotación.

### Carbón

En el muy complejo campo de la combustión del carbón parece indispensable que se alcance conocimiento profundo y que se investigue sobre la combustión. Adicionalmente, esta base científica debe extenderse al dominio de las tecnologías de combustión, especialmente las más limpias como las del lecho fluidizado. Así se convertirá el carbón en energético básico de uso interno, con las tecnologías más modernas para que sea ecológicamente aceptable.

En parte para el uso interno y en parte para dar valor agregado a los carbones exportables, es del caso investigar la ciencia y las tecnologías modernas de la coquización. Y también por ambos motivos es necesario dominar las técnicas modernas de transporte por ductos usando *slurries*, técnicas que no están disponibles a nivel mundial en todos los sentidos. Todas las tecnologías mencionadas hasta ahora deben llevarse a aplicaciones industriales relativamente próximas, para el bien del país.

Un segundo grupo muy interesante en el que la aplicación podría ser un poco más mediata, serían las ciencias de la carboquímica y algunas tecnologías selectas de ella, una especie de primera generación pragmáticamente escogida y que incluiría gasificación (2,11).

Otro campo interesante es la investigación de tecnologías de aprovechamiento y combustión *in situ*.

### Petróleo y gas

- Las tecnologías de aprovechamiento del gas en los campos, en refinería y para usos como la producción de fertilizantes y transporte con gas natural comprimido, son ejemplos interesantes de adaptación local con desarrollo propio de tecnologías internacionales.
- Tecnologías para el mejor aprovechamiento en refinería de algunos crudos colombianos, incluso de tipo pesado, y para optimar los rendimientos de gasolina y diesel. Esto incluye selección de crudo y catalizadores y es línea del ICP (3).
- Algunas líneas de desarrollo tecnológico en petroquímica que resulten prioritarias para la industria colombiana.

Las tecnologías de selección, evaluación y desarrollo de fluidos de perforación para optimar la perforación y producción de los pozos petroleros serán de gran interés y utilidad para el país. Igualmente algunas tecnologías de transporte y deshidratación de crudos pesados (3).

### *Materiales*

Las tecnologías químicas para el aprovechamiento de la roca fosfórica y de los azufres en la producción de fertilizantes son de estudiar y desarrollar, aunque en un principio pueda pensarse que no van a dar costos por debajo de los internacionales. Esto podría reversarse eventualmente ya que se deberían usar los recursos propios en un área como la de los fertilizantes.

Otro ejemplo de tecnologías de proceso que resulta interesante dominar son las de extracción de metales asociados al uranio, como los fosfatos, oro y vanadio; o al oro, como el platino.

Finalmente todo tipo de innovación tecnológica con los nuevos materiales eléctricos, cerámicos, aleaciones, compuestos y polímeros es interesante.

### *Fuentes renovables de energía*

Aquí se presenta una serie de tecnologías de interés investigativo y gran impacto social como las ecológicas, de purificación del agua, etcétera: biodigestores, digestión anaerobia, filtros orgánicos, neutralización de vinazas con producción de fertilizantes, estufas mejoradas (6). Estas tecnologías deben llevarse en general a aprovechamientos pronto vía difusión y adaptación social, trabajando con los grupos urbanos y rurales pertinentes.

Para otras, ver *Subsector consumo*.

### *Electricidad*

Parece indicado continuar la investigación sobre descargas atmosféricas en Colombia, efecto corona y radiointerferencia, la cual debe dar datos básicos para las que a continuación se mencionan y para diversas actividades de ingeniería.

Los estudios teóricos-experimentales de los sistemas de puesta a tierra en las redes eléctricas son interesantes; implican el desarrollo de tecnologías en Colombia aunque sea problema de todos los países (los suelos, climas y descargas varían). Y son muy importantes porque de ellos depende la protección de equipos y la calidad del servicio.

Dentro del mismo orden de ideas sobresale la necesidad de reducir la vulnerabilidad de los transformadores de distribución a las descargas atmosféricas, vena abierta de las empresas. La investigación debe llegar a seleccionar técnicas y traducirlas en normas y en métodos de análisis y diseño para nuestra ingeniería.

La investigación para las tecnologías de generación en ciclo combinado y para cogeneración tiene aquí un complemento necesario: estudiar las consecuencias de añadir la cogeneración a la red, analizar y definir tecnologías de protección y requisitos de operación.

Otro problema investigativo relacionado con protecciones es la de los equipos electrónicos como computadores contra las sobretensiones provenientes de la red eléctrica.

El sector eléctrico no había dado casi ninguna atención técnica a la calidad del servicio. La investigación puede empezar por el desarrollo propio de metodologías de análisis de calidad del servicio y de su normalización (9). En esta área como en las anteriores no se puede copiar tecnología y la ingeniería local debe desarrollarla, aunque informándose de experiencias de otros países.

Por esto es también interesante que se llegue a investigaciones de evaluación crítica de normas extranjeras usadas, para que este análisis conduzca a normas propias.

Las tecnologías de automatización en transmisión y subestaciones también pueden desarrollarse más. Sobre automatización hay mucho más por hacer en distribución (ver *Subsector consumo*).

### Subsector demanda<sup>13</sup>

#### Objetivos

##### a. Económicos

- Asignación óptima de los energéticos y minerales a sus usos, desde los puntos de vista de insumos energéticos y materiales, tecnológico, socioeconómico y ecológico.
- Disminución de los requisitos de energéticos/materiales actuales para diversos usos (producción de determinados bienes y servicios).
- Aumento de las demandas y consumos energéticos y de minerales y metales donde sea deseable para el desarrollo. *Energizar* actividades cuando sea conveniente.

##### b. De ciencia y tecnología

- El fomento de una investigación interdisciplinaria (técnica, económica y social) que llegue a propuestas que garanticen la utilidad social de los materiales y de los energéticos.

#### Áreas temáticas generales

- Debería extenderse la investigación socioeconómica y tecnológica de posibilidades de desarrollo por energización o cambio tecnológico-energético, particularmente pero no sólo para regiones rurales espe-

13. Este subsector es naturalmente cercano al del consumo. Es más fácil identificar las necesidades científicas y tecnológicas del consumo (piénsese en tecnologías de consumo final *versus* tecnologías de demanda).

Haciendo esta concesión pensamos, sin embargo, que por natural extensión de lo que ocurre en energía y planeamiento energético es útil conservar los dos subsectores, claro que uno al lado del otro.

cíficas en sus cultivos. Dar énfasis cuando sea del caso a las fuentes renovables de energía (6).

- *Idem*, por aprovechamiento de algunos materiales locales.

Llevar los estudios de demanda a un marco de cambio tecnológico requiere los insumos investigativos mencionados. Incluir consideración de fuentes renovables.

Se presenta y discute en la sección *Subsistema científico y tecnológico del sector y su desarrollo*, la necesidad de la adopción de una nueva técnica de planeamiento energético integrado en Colombia (13,16). Dentro de este enfoque es posible y deseable que la adopción y el desarrollo de técnicas de la gestión de la demanda (13,5) sea un interesante ejercicio investigativo, además de ser urgente para el sistema energético colombiano que se ha desarrollado sólo desde el lado de oferta, y por ello en parte muy mal.

También tendrán similar tipo de ingredientes investigativos y de interés los estudios de *uso racional de la energía*, en particular los de un nivel más alto que el usual y que incluye evaluación de las opciones en términos macroeconómicos de recursos, de estilo de desarrollo y de conveniencia geopolítica.

## Subsector consumo

### Objetivos

#### a. Económicos

- Buscar que el cambio tecnológico, en asocio con otras acciones, permita mejorar la eficiencia y las relaciones ecológicas de los consumos de energía y materiales.
- *Idem*, que se mejore la contribución unitaria de los insumos energéticos y materiales a la productividad si se trata de industria; al bienestar cuando se trate de consumidores individuales, familiares o sociales; ocasionalmente a otros beneficios: desarrollo regional, educación, desarrollo científico y tecnológico, organización social, etcétera (beneficios de integración industrial se tratan dentro de los efectos inmediatos del consumo).

#### b. De ciencia y tecnología

- El fomento de una investigación interdisciplinaria (técnica, económica y social) que llegue a propuestas que garanticen la eficiencia económica en los patrones de consumo de utilidad social para los materiales y los energéticos. Son complementarios a los del subsector demanda.

### Áreas temáticas generales

Son deseables las investigaciones que lleven a innovaciones tecnológicas para reducir los consumos energéticos, las que reduzcan los consumos de

insumos materiales y las que muestren la contribución de la energía y/o de ciertos insumos materiales a la productividad, al bienestar o a otros beneficios. También los estudios investigativos sobre sustituciones favorables y técnicas y tecnologías para lograrlas.

### *Efectos ecológicos*

Los estudios para adquirir conocimiento de los diversos efectos ecológicos del consumo de los energéticos e insumos materiales en Colombia son interesantes si se basan en la investigación técnico-económica social mencionada.

Las investigaciones sobre tecnologías y métodos para reducir los efectos ecológicos negativos de los consumos son de gran utilidad social.

### *Fuentes renovables de energía<sup>14</sup>*

La investigación tecnológica y el desarrollo de prototipos de estas fuentes ha sido y seguirá siendo un área científica activa en la que se deben tener en cuenta a los consumidores y sus características (10).

Una línea complementaria muy importante la constituye la investigación que tenga por objetivo la solución de problemas de desarrollo local en zonas rurales, a veces apartadas y dentro de las metodologías de la tecnología apropiada ya bien establecidas por sus efectos de cohesión comunal y otros.

La otra gran línea que visualizamos es una investigación y difusión tecnológica, a saber el desarrollo de planes masivos en algunas fuentes renovables muy atractivas pero que requieren economía de escala y apoyo por medio de definiciones oficiales (6), a saber los calentadores solares, con los eologeneradores, microcentrales hidráulicas, biodigestores y estufas mejoradas. Sólo a través de estos planes masivos se logran interesantes efectos mediatos del consumo (desarrollo de industrias locales, empleo), además de los beneficios para zonas apartadas.

### *Electricidad*

Ya se mencionó el tema de la calidad del servicio. Otro aspecto muy interesante y nada desarrollado es la automatización a nivel de la distribución y del consumo. Tanto la implementación de la gestión de la demanda, como la del uso racional de la energía requieren el desarrollo local de equipos y métodos para integrar contadores con controladores de carga y pico, tarifadores, etcétera. La tecnología puede llegar así a controlar pérdidas negras.

14. Para fuentes renovables la separación recursos - explotación - transformación - demanda - consumo - efectos del consumo es generalmente exagerada. Sugerimos agrupar esta temática en Consumo (ver además *Fuentes energéticas renovables, Fuentes renovables de energía y Areas temáticas generales del subsector demanda*).

## Efectos mediatos del consumo

### Objetivos

- a. Económicos: contribuir a:
  - El desarrollo de las industrias de insumos y de bienes de capital para el sector.
  - El empleo y el desarrollo social y económico en industrias o en las zonas mineras.
  - El desarrollo de industrias como las de la carboquímica y petroquímica.
- b. De ciencia y tecnología: el desarrollo tecnológico que acompaña a esas contribuciones.

### Áreas temáticas generales

Los estudios de desagregación tecnológica por sus efectos motores sobre el desarrollo tecnológico.

Los estudios de demandas inducidas y generación de empleo o de desarrollo tecnológico asociado con materiales o tecnologías energéticas sustitutivas.

Los desarrollos tecnológicos a base de productos de la carboquímica y la petroquímica.

Los estudios de calidad de la prestación de los servicios energéticos y de los materiales suministrados comercialmente, pueden ser necesarios para asegurar las contribuciones de energéticos y materiales a los objetivos de productividad y bienestar.

## El subsistema científico y tecnológico del sector y su desarrollo

### Objetivos

- El desarrollo de un sistema abierto, integrado y fuerte de ciencia y tecnología para esta área.
- El apoyo de ese subsistema al sector productivo en aspectos de negociación tecnológica, propiedad intelectual, transferencia de tecnología, desagregación tecnológica, normalización y control de calidad.

### Líneas de acción

Una línea activa la constituye los convenios actuales de Colciencias (con ISA, Carbocol, Ecopetrol, Olade) para integrar mejor las acciones tecnológicas con las productivas y económicas.

Interesante ha sido el desempeño del Fonico. Es sin embargo importante que mantenga su interés en el mediano y largo plazo (ejemplos: combustión limpia, gasificación) y no cambie hacia proyectos puramente de corto plazo.

En el caso del convenio ISA-Colciencias es muy valioso que haya iniciado su operación y se haya captado el interés de las empresas eléctricas. Podría, sin embargo, sugerirse que no se mire únicamente un sistema de calidad de tecnologías de consumo. Además, como la experiencia sugiere que las empresas identifican fácilmente problemas puntuales y de corto plazo y no líneas investigativas (carecen de una división o de un departamento de tecnología). Se sugiere ampliar el grupo participante por mayor inclusión de investigadores universitarios, industriales y consultores.

En el sector minero es muy deseable un fondo investigativo como el del Fonc. En lo institucional parece acertado el que se llegue a un centro nacional de investigaciones mineras con mucho más énfasis en ingeniería de minas y tecnología que en geología (1).

Hay también vacíos financieros y jurídicos que estorban considerablemente el desarrollo científico y tecnológico del sector: la falta de fuentes de financiamiento para minería, diferente a la del carbón, los precios irracionales del gas y en menor escala de algunos rubros de la electricidad y del diesel, y el vacío conceptual, legal y financiero con respecto a fuentes renovables, el cual afecta particularmente a las que requieren planes masivos.

En lo legal, sería conveniente llegar a que este sector cuente con certificados de eficiencias energéticas y consumos unitarios en productos y equipos; seguramente se pueden proponer otras medidas de similar tenor (algunas sobre contenidos contaminantes).

En el área de desagregación tecnológica la acción puede ser tanto legal, reforzando una posible obligatoriedad en ciertos proyectos, como discrecional, a través de talleres y proyectos que difundan su práctica.

Con respecto a las necesidades de formación en el subsistema ciencia y tecnología del sector, nuestro análisis nos llevaría a tres recomendaciones principales, aunque entendiéndose que se requiere formar personal en todos los campos y niveles:

- a. Compensar fallas cuantitativas y cualitativas de nuestro sistema educativo formando en el exterior personal especializado en combustión e ingeniería de minas a nivel de magíster.
- b. Formar en el exterior personal investigador del más alto nivel (doctorado) en las mismas áreas y además en geofísica, interpretación sísmica, planeación minera, modelos energéticos de optimación y toma de decisiones bajo riesgo, estudios ecológicos-energéticos.
- c. Reforzar con recursos humanos a los grupos investigativos que laboran en áreas que se pueden desarrollar mejor en el país que en el exterior, tales como la consideración de las variables tecnológicas, de recursos, de gestión de la demanda y de desarrollo regional en el sector energético; y los estudios fisicoquímicos de nuestros carbones y crudos. La sugerencia es apoyar estos procesos y posibilidades de formación en el país (para profesionales con una buena base, en general de nivel magíster).

Pasamos a las líneas de acción que pueden contribuir a la deseable integración y relación entre los autores y grupos del sector.

Una vía de integración y estímulo al crecimiento de los grupos investigativos es fomentar por medio de convenios o proyectos conjuntos el enlace de los grupos que trabajan un energético o mineral a nivel recursos con los que lo trabajan a nivel de explotación, etcétera.

Otra es el apoyo a la formación de grupos industria - centros investigativos - gobierno en los sectores de energía y minería.

Otra es promover estudios de enfoque sistémico en el sector, como los de gestión integrada de demandas y consumos, el desarrollo de una metodología de evaluación de proyectos, medidas y programas con esa base y el uso de modelos matemáticos globales del sector. Estas acciones afianzarán la integración del sector y pueden tener además aspectos investigativos.

El tema de planeamiento energético integrado es interesante. Dentro del Programa de Ciencia y Tecnología cabe considerar el desarrollo, por parte del país, de herramientas de planeamiento integrado que mejoren la forma y los métodos con que se planea este sector. Estos métodos dejan hoy día bastante que desear por haberse desarrollado como ejercicios rutinarios de consultoría, sólo para el subsector eléctrico, y no con la investigación e interdisciplinariedad necesaria; no son de planeamiento integrado aunque infortunadamente algunas empresas se refieren a ellos como tales.

La conveniencia de incluir este tema (16) refuerza la necesidad de alcanzar objetivos de eficiencia, suficiencia y de desarrollo armónico del sector, y el apoyo que el llegar a un planeamiento energético integrado daría a la integración tanto del sector como de su subsistema de ciencia y tecnología.

Se debe propiciar la difusión de la investigación del sector casi preferencialmente en unos pocos medios. Un candidato sería la revista *Energética*, para el caso de la energía.

Se debe buscar una proyección y conexión latinoamericana de la investigación. Para el caso energético en colaboración con Olade.

Se deben consolidar y usar los sistemas de información y bases de datos del sector.

Otras líneas para propiciar el progreso en capacidad negociadora, propiedad intelectual, transferencia de tecnología, etcétera.

### Elementos de un plan de acción para el sector

Algunos de estos elementos aparecen ya en la sección *Subsistema científico*. Se trata de indicar aquí qué recomendamos sobre secuencia de las acciones.

En general lo que recomendamos es que no se adopten secuencias rígidas. Así el plan propuesto de formación de personal no implica que se

deba retrasar el investigar sobre los temas pertinentes; también la superación de barreras jurídicas e institucionales iría en paralelo con el desarrollo de la investigación. Las posibles mejoras en la planeación de la investigación eléctrica no sugieren que se paralice la forma actual de trabajo, así como está reconocida la posibilidad de presentar proyectos por fuera del convenio ISA-Colciencias.

Tampoco parece sano empezar por lo científico y retrasar lo tecnológico; ni pedir que lo sistémico venga primero o dejarlo para el final.

Lo que sí recomendamos, aunque no sin alguna duda, es que se busque la simultaneidad de avance entre los subsectores de recursos, explotación, transformaciones y transporte, demanda, consumo y efectos mediatos de consumo. Lo cual requiere compensar un poco la situación actual no deteniendo los grupos y áreas en desarrollo pero sí estimulando consistentemente las actividades que irían compensando el desbalance actual. La consolidación de grupos o formación de nuevos de investigación no debería tampoco tener prioridad temporal sobre la actualidad investigativa de los existentes.

Por otra parte, sí parece que las medidas tendientes a la integración en el subsector investigativo podrían tener una prioridad inicial algo mayor.

## Referencias

- (1) Sampedro, J. *Ciencia y tecnología para el sector minero*. Documento preparado para Colciencias, Bogotá, 1990.
- (2) Korman, A. *Perspectivas del carbón en Latinoamérica y las necesidades de ciencia y tecnología para su desarrollo*. Memorias I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, Medellín, agosto de 1991.
- (3) Empresa Colombiana de Petróleos. *Misión y Plan Estratégico del Instituto Colombiano del Petróleo*. Resumen, junio 11 de 1985.
- (4) Hernández, G. *El sistema de información energética*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, diciembre de 1990.
- (5) García, C. y Betancourt, F. *Programa Nacional de Gestión de la Demanda y Tecnología Energéticas*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, diciembre de 1990.
- (6) Beltrán, R., Benavides, J., Navas, F. y Pinilla, A. *Las fuentes nuevas y renovables de energía en Colombia*. Documento preparado para Colciencias por el CIFI, Universidad de los Andes, noviembre de 1990.
- (7) Poveda, G. *Programa Nacional de Investigación y Desarrollo sobre Ciencia y Tecnología del Carbón*. Memorias I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, Medellín, agosto de 1991.
- (8) Colciencias. *Políticas de investigación y desarrollo tecnológico para el sector energético*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Investigaciones y Desarrollos Tecnológicos en Energía, Bogotá, diciembre de 1990.
- (9) ISA Sector Eléctrico Colombiano. *Sistema de calidad, plan de investigación sectorial*. Agosto de 1991.
- (10) Cadena, A. *Evaluación, estado actual y propuestas de desarrollo de las energías convencionales en Colombia*. Simposio sobre Alternativas Energéticas para Colombia, 1991.
- (11) Carbocol. *Ciencia y tecnología del carbón: propuestas del carbón colombiano*. Seminario-taller, Sogamoso, mayo de 1991.

- (12) DNP - Colciencias. *Política de ciencia y tecnología*. Conpes, julio 12 de 1991.
- (13) Navas, F. "Planeamiento energético global y planeamiento eléctrico". *Energética*, No. 7, septiembre de 1991.
- (14) Colciencias. *Ciencia y tecnología para una sociedad abierta*. 1991.
- (15) Colciencias. *Propuesta para la estructuración del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería*. 1991.
- (16) Díaz, H. *Programa de Investigaciones en Energía y Minería*. Primer borrador, 1991.
- (17) Sampedro, J. *Programa de Investigaciones en Energía y Minería*. Primer borrador, 1991.
- (18) Navas, F. El enfoque de sistemas y la reestructuración del sector eléctrico colombiano. Congreso Nacional de Aciem, Barranquilla, noviembre de 1991.
- (19) Energy Research Group. *Energy Research, Directions and Issues for Developing Countries*. IDRC - UNU, 1986.

### Capítulo 3

## SIMPOSIO DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA

INVESTIGACION EN USOS Y APLICACIONES DEL CARBON  
EN COLOMBIA

*Jesús A. Pajares (España)*

#### Introducción

En el presente artículo, tras una breve reflexión sobre el estado de la investigación en carbón en el país, seguido de una corta presentación sobre tendencias actuales en la investigación sobre ciencia y tecnología del carbón a nivel mundial, pretendo recoger en unos pocos apartados líneas básicas para un bosquejo sobre el desarrollo de la investigación en carbón (*coal*) y materiales carbonosos (carbón) en Colombia, a corto y medio plazo. Entendiendo por corto plazo, digamos el período que va desde ahora al año 1995; y por medio plazo, del 95 al 2000 (opiniones que cubren períodos más largos, con los no fácilmente predecibles cambios en la situación energética mundial, situación del país, y en los equipos dirigentes de la política científica, serían una quimera, con la escasa solidez del "cuán largo me lo fiáis" del poema).

Adelanto que la opinión, muy subjetiva, que reflejan las páginas siguientes, sin la menor influencia de estamento alguno ni de los amigos que pudiera haber dejado en Colombia, puede ir afectada por un defecto de base: falta de información. Mis conocimientos sobre la situación en que se encuentra actualmente la investigación sobre carbón en Colombia se reducen a:

- a. Los tres documentos circulados por Colciencias como preparación para la reunión de Bucaramanga (1-3).
- b. Una visita a dos grupos de las universidades de Antioquia y Nacional de Colombia en Bogotá donde se hace investigación en carbón.
- c. Asistencia al Simposio del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, en Bucaramanga, donde conocí parte de la comunidad científica que trabaja en el área.
- d. Visitas de algún propietario de minas, científicos y tecnólogos del carbón colombianos a nuestro Instituto Nacional del Carbón, en Oviedo, que me permitió ir detectando algunas áreas de desarrollo de interés particular para el país.
- e. Posteriormente he revisado las Memorias del I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón (4), celebrado el pasado año en Medellín.

Pueden ser mimbres suficientes para efectuar una diagnosis correcta, pero también pueden conducir a un análisis incompleto.

Como punto introductorio final: todas las consideraciones siguientes están referidas a investigación sobre *Usos y aplicaciones del carbón*, en lo que trabajo. No opino sobre minería. Considero ya el carbón disponible, fuera de la boca de la mina.

### **Investigación sobre carbón y materia carbonosa en Colombia**

Una revisión de los trabajos relacionados *propriadamente* con ciencia y tecnología, publicados en las Memorias del citado Primer Congreso Nacional del Carbón (4), conduce a unos quince grupos de investigación, casi todos universitarios, que trabajan en el país en esta área. Número que coincide con el citado por el ingeniero J. Sampedro (3) o que se pueden entresacar del listado de G. Poveda (en 4) sobre posibles entidades ejecutoras de un programa nacional de investigación y desarrollo sobre ciencia y tecnología del carbón en Colombia.

Los temas de trabajo están bastante dispersos, centrándose en *caracterización de carbones* (cinco artículos, de ellos uno interesado en materia estéril y otro en petrografía) *química física del carbón* (dos artículos sobre oxidación, dos sobre termoplaticidad) y su *superficie* (cuatro trabajos) y *gasificación* (cuatro artículos). Hay dos artículos sobre combustión, uno sobre pirólisis, uno sobre química de breas y uno en aplicaciones de carbón como briqueteado. Casi testimonialmente aparecen trabajos en preparación de carbones, mezclas carbón-agua, hidrogenación, coquización y utilización de estériles de combustión.

A nivel internacional y únicamente como índice orientativo, en las tres últimas conferencias internacionales sobre carbón, en Maastricht, Tokio y Newcastle (5), solamente aparecen artículos de los dos grupos que lideran los doctores J. M. Rincón en la Universidad Nacional de Colombia y F. Mondragón en la Universidad de Antioquia. Los temas de trabajo presen-

tados en el último congreso versan sobre propiedades de superficie y licuefacción de carbones (6, 7) y termoplaticidad (8, 9).

El número de grupos que hacen en Colombia investigación sobre carbón parece razonable. Más discutible pudiera ser la infraestructura experimental —que temo sea pobre, en general— y el potencial humano de cada grupo. Por ejemplo, considero que el grupo de científicos del Departamento de Química de la Universidad Nacional en Bogotá puede ser suficiente para encararse con proyectos serios de investigación, sea en ciencia pura o aplicada, pero el grupo de la Universidad de Antioquia —un doctor y dos investigadores— es demasiado pequeño. Más aún cuando, a falta de un programa de doctorado, no puede disponer de la mano de obra creativa, crítica y, digámoslo, barata, que supone las estancias en un laboratorio, por tres o cuatro años, de graduados universitarios en fase de realización de una tesis doctoral de tipo experimental. Echo de menos la existencia de algún laboratorio de investigación y servicios, en régimen universitario u otro, con capacidad para mantener una estructura experimental y laboral —¿se puede concebir su existencia dentro del actual sistema de enseñanza superior en Colombia?— que pueda suministrar con rapidez datos analíticos de carbones y coques, ensayos sobre propiedades termoplásticas, decisiones sobre casos de arbitraje, etcétera, a lo largo de todo el año (sin restricciones por períodos vacacionales).

Repito que la temática está muy centralizada en caracterización, fisicoquímica y gasificación de carbones. Apenas se realiza algo sobre preparación y métodos de depuración de carbones y finos de carbón. La petrografía del carbón está muy pobremente representada, cuando es el principal elemento de juicio sobre calidad de carbones, mezclas, fraudes en suministros, y últimamente arma fundamental en estudios básicos sobre química de macerales y submacerales, estudios de residuos de combustión, etcétera. No se están haciendo estudios de coquización, lo que conlleva poco trabajo sobre propiedades termoplásticas de carbones coquizables y sobre la carboquímica derivada de los estudios y aplicaciones de alquitranes y breas. Se está trabajando poco en combustión, donde dominan principalmente en el mercado internacional los carbones térmicos, y menos aún en combustión limpia (por ejemplo, estudios sobre caliza para la eliminación de  $\text{SO}_2$  por adición en calderas, cogeneración).

Los artículos firmados por autores colombianos en revistas internacionales están casi limitados a estudios sobre termoplaticidad y propiedades de superficie de carbones. De una lectura rápida se concluye que mantienen el tipo a base de estudios muy básicos, sin poder entrar en temas de más importancia probablemente por deficiencias de infraestructura experimental y dificultad de financiación.

La investigación, básica o aplicada, sobre materiales carbonosos derivados del carbón (electrodos, fibras de carbono, composites carbono/

carbono, grafito, negros de carbón, etcétera) prácticamente no existe en Colombia.

### Investigación sobre carbón en el mundo

De la investigación sobre carbón en la segunda mitad del siglo XX ha surgido una curva sinusoidal conforme con las distorsiones que las sucesivas *crisis del petróleo* han introducido en el mercado mundial de la energía. Con una química difícil, donde no son de prever éxitos reconocidos a corto plazo, la investigación fundamental sobre carbones ha estado y está muy abandonada por los estamentos universitarios. Avances tecnológicos, fundamentalmente en minería, en los últimos 15 años, y su fuerte consolidación como baluarte energético están trayendo paralelamente una importancia creciente de la investigación sobre aspectos estructurales del carbón y su utilización como fuente de energía, principalmente en los países productores (EU, Australia, Canadá, Sudáfrica, Polonia) y Japón. Menos favorecidos son los estudios sobre coquización —siguiendo la recesión mundial de la industria del acero— y de licuefacción de carbones, donde no se han conseguido avances tecnológicos significativos y no es de prever una rentabilidad económica a corto y medio plazo.

Investigación centrada en Instituto sobre ciencia y tecnología del carbón en las academias de ciencia y universidades de distintos países del Este. En centros paraestatales o de interés público como el Bergbauforschung (ahora DMT), en Essen, Alemania; British Coal, Cheltenham, Reino Unido; los laboratorios del Department of Energy Pittsburg, USA; National Institute for Coal Research, Sudáfrica; Instituto de Carboquímica, Zaragoza, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en España; Centre de Pyrolyse de Marienau, Francia, Csiro, Australia, etcétera. O en universidades como Karlsruhe y Clausthal, Alemania; Newcastle, Leeds Loughborough, Sheffield, Strathclyde, Iowa, en EU; grupos de las universidades de Hokkaido, Kyushu, Chiba, Tokio, etcétera.

Esta política de consolidación de la investigación en ciencia y tecnología del carbón y de sus derivados se ha reflejado en la celebración, ya de una manera regular, bienal, de las International Conferences on Coal Science (5), que preparan su séptima edición el próximo año en Banff, Canadá. Sobre aspectos más concretos, se celebran regularmente reuniones, en Europa, en Rolduc (10), semejantes a las de Gordon Conference en EU, polacos y franceses han comenzado a dedicar un congreso exclusivamente a estudios sobre estructura del carbón (11), y reuniones sobre aspectos puntuales que están proliferando, desde las enfocadas sobre aspectos petrológicos, como la celebrada en Orleans, Francia (12) o las convocadas por los diversos grupos nacionales de carbón que aparecen en el *Coal Calendar* (13).

Como temas de investigación en alza aparecen la *aplicación de métodos modernos de flotación y separación de estériles en columna en el área de preparación*

de carbones; caracterización y métodos de eliminación de azufre, nitrógeno y halógenos; oxidación y cambios introducidos por exposición atmosférica; estudios fundamentales y cinéticos de gasificación y combustión en reactores de flujo laminar, las diversas tecnologías de lecho fluidizado y cogeneración; procesos de pirólisis con hidropirólisis, licuefacción, coprocesado; carbonización a temperatura baja y grafitización, separación y estudios básicos sobre macerales; termoplasticidad; propiedades superficiales y de bulk; reactividad de coques siderúrgicos y metalúrgicos, producción de carbones activos, etcétera.

En cuanto a medios de comunicación destacados, aparte de los *Proceedings* de las conferencias internacionales on *Coal Science* (5), podemos citar las revistas *Fuel* y *Fuel Processing Technology*, en Europa; *Energy and Fuels* en EU, *Erdol and Khole* y *Cokemaking Journal*, Alemania, donde se recogen los avances en coquización; *Combustion and Flame*; *Journal of Coal Quality*, *Journal of the Institute of Energy*, *solid fuel chemistry*, *Internacional Journal of Coal Geology*, entre otros. Como series periódicas probablemente la más conocida es la *Preprint. Division of Fuel Chemistry* de la American Chemical Society. Aspectos puntuales sobre distintos problemas de ciencia y tecnología del carbón son publicados regularmente por la Agencia Internacional de Energía, IEA.

### Las investigaciones sobre materiales carbonosos

Como capítulo aparte, bien diferenciado, se ha desarrollado una investigación sobre materia muy rica en carbono, de procedencia diversa —carbón, petróleo, madera, polímeros— que ha conducido en las dos últimas décadas a materiales de altas presentaciones y alto valor añadido, con una componente tecnológica y económica importante en el presente y con un futuro muy prometedor.

Los trabajos en esta área —denominada carbón en el idioma inglés— se presentan regularmente en reuniones con periodicidad anual, que tienen lugar los años pares en Europa y los años impares en América (14), organizadas estas últimas por la *American Carbon Society*, ya en su vigésima edición (Santa Bárbara, 1991, próxima, Buffalo, 1993). Mítines más concretos, sobre materiales de un cierto tipo, se convocan periódicamente por los distintos grupos nacionales de *carbón*. Por ejemplo, aspectos de porosidad de carbones se suelen llevar a los congresos sobre caracterización de sólidos porosos (COPS I y II (15), el próximo tendrá lugar en Marsella, 1993); talleres sobre carbones activos están siendo organizados en el *Center for Applied Energy Research*, Universidad de Kentucky (16); un congreso sobre carbones activos y catálisis tuvo lugar en la Universidad de Loughborough, 1989 (17), organizado por el Grupo Británico del Carbón, reuniones sobre grafitos, fibras de carbono, composites, compuestos de intercalación en grafitos, son organizados a menudo por grupos activos en muchas de las universidades citadas en el apartado anterior; sin contar los cursos sobre estudios avan-

zados y talleres que se organizan más irregularmente bajo la tutela del Comité Científico de la OTAN (18).

Los temas de investigación giran sobre compuestos carbonosos de superficie específica elevada, como *los carbones activos* incluida la preparación de tamices moleculares y de tejidos de carbón activo —cada vez más utilizados como adsorbentes y para la eliminación de contaminantes, como soporte de catalizadores y para el almacenamiento de gas natural, y *negros de carbón*, carga principal en la industria del caucho; *fibras y filamentos de carbono* (y de carbón activado), composites fibra/polímero y carbono/carbono, de gran importancia en la industria aeronáutica y aeroespacial; *cerámicos refractarios* ricos en grafito; *electrodos* (industria del aluminio) *coques especiales*, grafitos, grafitos para protección nuclear, *diamante artificial*; estudios sobre *carbonización controlada*, *breas de mesofase*; *fullerenos*, *carbones pirolíticos* preparados por deposición química (o física) en vacío; compuestos de intercalación en grafito y óxido grafitico, etcétera.

*Carbón* es la principal revista americana para publicaciones en esta área. En Europa buena parte del trabajo sobre materia carbonosa derivada de carbones minerales va a *fuel*, y otra parte sustancial se distribuye en revistas de campos más particulares (adsorción, catálisis) y sobre todo en el *Journal of Materials Science* y otras revistas sobre materiales.

### Recomendaciones específicas y acciones complementarias

En este marco, está claro que, salvo una interesante siembra y distribución de grupos de investigación por toda la nación, está casi todo por hacer si pretendemos que la investigación sobre carbones y materia carbonosa alcance en Colombia niveles competitivos con los convencionales en un país desarrollado. Es absolutamente necesario, con la mayor rapidez, hacer un esfuerzo en formación de doctores y reciclaje de investigadores sénior, prioritariamente en buenos laboratorios extranjeros, que trasporten a los centros colombianos inquietud, técnicas modernas, líneas actuales de trabajo. Paralelamente convendría poner en práctica un programa de refuerzo de la infraestructura experimental de los laboratorios respectivos, con el fin de eliminar frustraciones y disponer de métodos rápidos y eficientes, en línea con la realidad de la situación actual en ciencia y tecnología. Incluyo en este apartado la incorporación de algunas técnicas caras (por ejemplo, resonancia magnética nuclear, SEM-EDS) en laboratorios seleccionados, bien ubicados, que puedan servir a la totalidad de la comunidad *carbonera* colombiana sin necesidad de echar mano a laboratorios de fuera del país.

La programación e implementación se podría hacer a través de un plan nacional para la investigación sobre carbón y materiales carbonosos, en programas a tres, cuatro o cinco años (preferiblemente a tres), con financia-

ción apropiada, y convocatorias anuales de becas, infraestructura y proyectos de investigación, amén de las acciones complementarias adaptadas a la realidad actual de la investigación colombiana en carbón. La programación y distribución de gastos debiera estar bajo el control de una comisión, delicadamente seleccionada, bajo la supervisión de Colciencias, y su ejecución encomendada a un organismo o persona capacitados (probablemente se podría adecuar al programa la actual experiencia Carbocol-Fonic). Como objetivos se debieran estimular, *en investigación básica*, todos los aspectos relacionados con el carbón materia carbonosa, tomando como principal criterio de selección, la *calidad en investigación orientada y aplicada*; además de la calidad debieran pesar factores relacionados con la realidad actual y política carbonera de Colombia. Desaconsejaría inversiones estimables en proyectos de investigación aplicada de éxito dudoso, por su complejidad, por la imposibilidad de competencia con tecnologías extranjeras con varias décadas de adelanto, o porque tengan poco que ver con la realidad económica del país.

En este contexto, bajo la sencilla consideración que en Colombia deben primar las mismas líneas de trabajo que rigen en la buena investigación sobre carbón a nivel mundial, adaptadas a los grupos, investigadores y circunstancias de la situación nacional en este momento, me permitiría recomendar como líneas prioritarias para proyectos de investigación:

1. Caracterización de carbones. Formas de azufre y nitrógeno. Estudios sobre materia mineral. Análisis de trazas y halógenos. Análisis petrográfico. Separación y química de macerales.
2. Preparación de carbones. Métodos de separación, depuración (flotación con espumantes, aglomeración con aceites) y secado. Desulfuración, homogeneización y almacenamiento. Oxidación.
3. Coquización. Coques siderúrgicos (de horno alto) y metalúrgicos. Recarburantes. Propiedades y ensayos termoplásticos de carbones coquizables. Reactividad de carbones y coques.
4. Carboquímica. Alquitranes y breas. Química de hidrocarburos aromáticos y poliaromáticos. Pirólisis, hidropirólisis y carbonización a temperatura baja. Coprocesamiento.
5. Gasificación y combustión. Combustión en régimen laminar y en lecho fluidizado. Ciclo combinado. Métodos de desulfuración y desnitrificación. Briquetado.
6. Estudios sobre materiales carbonosos. Carbones activados. Negro de carbón. Grafitización. Electroodos. Carbones vítreos y pirolíticos. Breas de mesofase. Fibras de carbono. Composites con materia carbonosa. Diamante artificial.

Mientras que se debe invitar a la realización de los proyectos de investigación básica, académica, en todos estos campos hay líneas de

investigación aplicada en las que aconsejaría ganar tiempo al tiempo; caracterización y preparación de carbones (apartados 1 y 2 completos), propiedades de carbones coquizables, metodología de la combustión y briqueteado. Menos interesante considero la financiación de estudios aplicados sobre gasificación, donde el adelanto de algunas compañías multinacionales (Lurgi, Foster Wheeler, etcétera) y laboratorios potentes es demasiado grande. Algunas de las líneas citadas en Carboquímica son discutibles, al menos de interés a corto plazo, en tanto los subproductos de la industria de coquización no sean una realidad en el mercado colombiano. Recomendaría la selección de algunas líneas entre las citadas en la investigación sobre materiales carbonosos, sobre las que aconsejaría un incremento de la investigación básica si no se requiere perder la carrera del desarrollo científico y tecnológico en este campo.

No quiero entrar en la polémica (desatada en la reunión de Bucaramanga) sobre la conveniencia o no de la instauración de un instituto colombiano del carbón. Hay centros paraestatales o pluriempresariales donde se hace investigación sobre carbón en muchos países. Pero también hay otros países con un nivel de investigación alto que lleven a cabo su investigación exclusivamente en laboratorios de empresas y centros universitarios. Caso positivo habría que definir muy bien qué requiere el país, cómo se financia, en qué estructura quedaría emplazado (¿Ministerio de Educación, Minas? ¿Centro de investigación, de servicios, ambos?) si no se quiere caer en un esfuerzo y gasto superfluos.

Lo que sí estimo como imprescindible es dotar a algunos laboratorios, ubicados en sitios estratégicos, con la infraestructura experimental y personal técnico auxiliar, abiertos todo el año, capaces de atender como servicio los problemas analíticos o de ensayos, rutinarios o no, provenientes del grupo propio, de otros grupos de investigación y empresas carboneras, centrales térmicas, etcétera; ejercer como árbitro en litigios, etcétera. En algunos (un par de ellos) de estos laboratorios se debería facilitar la instalación de técnicas más caras —SEM/EDS, fluorescencia RX o ICP para análisis rápidos de cenizas— con la intención de librarse de la dependencia extranjera y con la obligación de atender a todos los grupos del país.

La rentabilidad de la inversión efectuada debiera medirse a través de un plazo de seguimiento aplicando criterios universalmente establecidos: trabajos de fin de grado, tesis doctorales, informes, patentes, contratos, publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Atendiendo a un último punto que se debatió en Bucaramanga, no creo que pague el esfuerzo económico y editorial, la publicación de una revista científica dedicada al carbón. (No diría lo mismo de un boletín de noticias, avances, etcétera). La supervivencia de revistas, acreditadas incluso ante toda la comunidad científica iberoamericana, como *Anales de Química*, *Revista Latinoamericana*

de Ingeniería Química y Química Aplicada, está resultando muy difícil y no se corresponde con la consideración académica, muy devaluada, de las contribuciones científicas que en ellas aparecen. Revistas de menos alcance sirven, con raras excepciones, únicamente para el engorde de currículos de personas pertenecientes al grupo que las edita.

## Referencias

- (1) Navas, F., Sampedro, J., Díaz, H. y Mondragón, F. *Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería*. Documentos para la elaboración del Plan de Acción, Colciencias, Bogotá. 1992.
- (2) Beltrán, R., Benavides, J., Navas, F. y Pinilla, A. *Las fuentes nuevas y renovables de energía en Colombia*. CIFI - Colciencias, Bogotá. 1990.
- (3) Sampedro, J. *Ciencia y tecnología para el sector minero. Diseño de programa*. Colciencias, Bogotá. 1990.
- (4) Memorias del I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón. U. de Antioquia-Colciencias-Carbocol, Medellín. 1991.
- (5) 1991 International Conference on Coal Science Proceedings. Newcastle, IEA Coal Research Ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991 (y anteriores).
- (6) Mondragón, F., Ardila, P., Espinal, G., Jaramillo, A. y Quintero, G. *Acid base interactions on the surface of coal*, en (5), p. 131.
- (7) Mondragón, F., Jaramillo, J., Quintero, G. y Fernández, J. *Disolution of coal with ethanol under nitrogen pressure*, en (5), 865.
- (8) Rincón, J. M. y Moreno, G. *Swelling rate of coal with different solvents*. En (5), p. 215.
- (9) Rincón, J. M., Díaz, J. J., Moreno, G. y Baquero, M. C. *Influence of preswelling on the burning profile of coal*, en (5), p. 420.
- (10) *Coal Characterization for conversion processes 1989*, W. Prins, K. A. Nater, H. A. G. Chermin y J. A. Moulijn Eds., Elsevier, Amsterdam, 1990.
- (11) *Coal Structure '92*. Second International Symposium on Structure, Properties and Reactivity of coal, Krakow, Polonia, 1992.
- (12) *Coal -Formation, occurrence and related properties*. Orleans (Francia), 1989.
- (13) *Coal Calendar*. Publicación bimensual de IEA Coal Research, Londres.
- (14) Twentieth Biennial Conference on Carbon, *American Carbon Society*, Sta. Bárbara, 1991; *Carbone 90*. International Carbon Conference, Groupe Francais d'étude des Carbone, Paris, 1990.
- (15) *Characterization of porous solids II*, F. Rodríguez-Reinoso, J. Rouquerol, K. S. W. Sing y K. K. unger Eds. Elsevier, Amsterdam, 1991.
- (16) *Workshop on Adsorben carbon*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Lexington, 1991.
- (17) *Carbon and Catalysis en Catalysis today* 1, No. 2, 1990.
- (18) Por ejemplo, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on "Carbon Fibers, Filamentos and Composites" J.L. Figueiredo, C. A. Bernardo, R. T. K. Baker y K. J. Huttingers, Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990.

## EL INSTITUTO DE ASUNTOS NUCLEARES Y EL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA

*Ricardo Ramírez y Carlos Sánchez (ponencia)*

El Instituto de Asuntos Nucleares, IAN, entidad de ciencia y tecnología, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, en el desarrollo del Decreto 588 del 26 de febrero de 1991 modificó sus estatutos, ampliando sus objetivos a los de adelantar programas científicos y tecnológicos sobre las fuentes no convencionales de energía y fomentar su aplicación en el país. Paralelamente inició una reestructuración con el propósito de tener la capa-

cidad operativa necesaria para responder a los requerimientos del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología.

### Objetivos

En relación con el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, el Instituto de Asuntos Nucleares tiene los siguientes objetivos principales:

- La investigación y desarrollo tecnológico de las energías no convencionales, incluyendo el ahorro de energía.
- Fomentar la aplicación de la energía nuclear.
- Recopilar, sistematizar y divulgar información sobre energía nuclear y fuentes no convencionales de energía.

### Actividades

Para cumplir los objetivos señalados, el instituto está ejecutando las siguientes actividades:

- Programa Nacional de Energías no Convencionales, PNENC. La formulación de este programa se realiza conjuntamente con la Comisión Nacional de Energía y el Ministerio de Minas y Energía y su ejecución debe empezar a partir de 1993.

Con este objeto se han contratado cinco asesores en las fuentes energéticas no convencionales consideradas más representativas, como son: solar, eólica, biomasa y pequeñas centrales hidroenergéticas, y un asesor general que tiene a su cargo la tarea de plantear mecanismos de financiación, institucionalización y masificación de las fuentes no convencionales de energía.

Entre los principales objetivos del Programa Nacional de Energías no Convencionales se encuentran:

- Formular propuestas para integrar y armonizar el desarrollo de las FNCE con los planes y programas del sector energético nacional, con el propósito de establecer una política concebida bajo una planeación energética integral.
- Evaluar el estado actual del desarrollo tecnológico nacional ampliando sus objetivos a los de adelantar programas científicos y tecnológicos sobre las fuentes no convencionales de energía y fomentar su aplicación en el país. Paralelamente inició una reestructuración con el propósito de tener la capacidad operativa necesaria para responder a los requerimientos del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Evaluar el estado actual del desarrollo tecnológico nacional de estas fuentes y sus posibilidades para satisfacer demandas a corto plazo.

- Determinar líneas de investigación y desarrollo de la tecnología apropiada para aplicaciones a mediano y largo plazo.
- Recomendar las principales líneas de capacitación para investigadores, científicos y planificadores energéticos. Esta recomendación incluirá un análisis para la formación de grupos de investigación y fortalecimiento de los ya existentes.
- Determinar mecanismos para el control de calidad de los equipos producidos nacional e internacionalmente.
- Establecer el aprovechamiento potencial de cada una de las fuentes en estudio.
- Establecer instrumentos para la divulgación de las FNCE a partir de proyectos piloto y programas de capacitación a todos los niveles que fomenten una cultura del uso adecuado de la energía y la conservación del ambiente.
- Estimar los costos para el desarrollo del programa de FNCE y definición del esquema institucional para su realización y mecanismos de financiación.

### *Planeamiento nucleoelectrico*

Contempla la conformación de un grupo cuyo objetivo es preparar los estudios que posibiliten introducir la componente nuclear en el planeamiento energético del país y le permitan a la institución trazar políticas a largo plazo tanto para la exploración y explotación de materiales radiactivos, como para la aplicación de la energía nuclear.

En el campo de la nucleoelectricidad se presentaron sendos proyectos complementarios y orientados en la misma dirección, al Departamento Nacional de Planeación y al Organismo Internacional de Energía Atómica, con el propósito de capacitar un grupo de profesionales para asimilar el manejo de los diferentes modelos que ofrece el organismo y de que dispone el país, e insertar estas metodologías en el planeamiento energético nacional.

### *Ahorro de energía*

El objetivo de este campo es desarrollar y aplicar tecnologías convencionales y nucleares para la metrología, auditoría y uso eficiente de la energía. Con este propósito se ha conformado un grupo para trabajar en ahorro y uso racional de energía que se encuentra en fase de capacitación y entrenamiento.

### *Desarrollos tecnológicos en ejecución*

Además de las actividades arriba señaladas, el IAN ha desarrollado y aplicado con éxito prototipos de plantas de desalinización solar y de secado

de alimentos. Actualmente se encuentra en ejecución el mapa de radiación solar de Colombia y un prototipo de refrigerador solar.

### **Consideraciones sobre la inserción del IAN en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología**

A pesar de disponer de los nuevos instrumentos jurídicos establecidos en desarrollo de la Ley 29 de 1990, aún subsisten en las entidades oficiales con funciones de ciencia y tecnología, serias dificultades para cumplir su misión. Entre las dificultades encontradas pueden mencionarse las siguientes:

- Los grupos de investigación son pequeños y desarticulados, tienden a ser nómadas temáticos, lo cual conduce a que las investigaciones sean intrascendentes, erráticas e inconsistentes con los problemas y prioridades nacionales.
- A pesar de establecerse expresamente en el artículo 18 del Decreto 585 de 1991, la función de atender las consultas para la determinación de las apropiaciones presupuestarias para planes y programas de desarrollo científico y tecnológico que deban incluirse en el presupuesto, los proyectos de investigación siguen siendo considerados como actividades marginales por parte de los funcionarios encargados de asignar los recursos de presupuesto nacional para estos propósitos.
- Es necesario el seguimiento y control de la gestión de las entidades oficiales con funciones de ciencia y tecnología; éstos se limitan al control numérico legal ejercido por la Contraloría General de la República. Aunque constitucionalmente esta institución tiene facultades para ejercer el control de gestión, no es la entidad más apropiada para ejercer esta función.
- La formulación de proyectos de investigación generalmente no está orientada a la solución de problemas nacionales y sectoriales.
- La rigidez administrativa que caracteriza a los establecimientos públicos, dificulta el ágil manejo y la puesta en marcha de los proyectos y el cumplimiento de sus objetivos dentro de los plazos estimados.
- Prevalecen dificultades para la realización de actividades interinstitucionales, persistiendo la duplicación de esfuerzos y la incoherencia operativa para el logro de los objetivos.

### **Consideraciones sobre la inserción del Instituto de Asuntos Nucleares en el sector energético**

Como entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía el IAN, con una profunda vocación científica, sufre los efectos colaterales de los grandes problemas sectoriales, entre los que pueden mencionarse los siguientes:

- La problemática financiera que atraviesa el sector energético minimiza la importancia del desarrollo científico y tecnológico, tópico exótico para los planificadores sectoriales.
- El complejo esquema institucional del sector dificulta un acercamiento entre las entidades que desarrollan ciencia y tecnología y aquellas entidades del sector que tienen la posibilidad de aplicar estos desarrollos.
- Entre los planificadores sectoriales aún no existe la conciencia sobre el papel que deben desempeñar la ciencia y la tecnología como factores vitales en el desarrollo integral del país.

## PLAN DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. RESUMEN DE LA PONENCIA

*Uriel Salazar Duque*

Un programa de investigación y desarrollo tecnológico en el área debe mirar permanentemente la solución de nuestra problemática actual y así mismo generar el conocimiento necesario para proyectar el desarrollo futuro, buscando la armonía entre el conocimiento internacional y las características particulares de nuestras propias condiciones geográficas, físicas, humanas e institucionales.

El plan de desarrollo que ha propuesto el gobierno nacional para el país está basado en el desarrollo tecnológico, que evoluciona de acuerdo con las siguientes etapas: modernización, reconversión, restructuración, apertura, desregulación y privatización. Por tanto, las empresas deben plantearse un cambio de grandes proporciones, en cuanto a su concepción, la gerencia y el modo de interacción con el medio externo. La empresa debe considerarse como un gran proceso que interactúa con un medio externo del cual toma los insumos y al cual ofrece sus productos, siendo su supervivencia dependiente de su capacidad de competir, con todos los que ofrecen el mismo producto, en un mercado de libre competencia.

El poco desarrollo tecnológico existente entre la mayoría de las empresas de energía no exige a sus proveedores la necesidad de competir con desarrollo tecnológico y por tanto, la industria de bienes y servicios y el sector académico público y privado presentan igual circunstancia.

Las empresas que generan, transmiten o distribuyen energía no podrían llevar a cabo su acción sin la participación de otros sectores de la economía que hacen posible el cumplimiento de su labor.

De esta manera, como en otros países, el sector eléctrico colombiano debería considerarse integrado por el subsector conformado por las empresas de energía que generan, transmiten y/o distribuyen energía, por el subsector de las empresas de manufactura y servicios que producen suministros e insumos necesarios para la función del subsector anterior y

por el subsector académico público y privado que suministra a los subsectores anteriores el recurso humano especializado, profesional y técnico y la infraestructura humana y técnica dedicada a la investigación. Así, la visión de la investigación y desarrollo tecnológico no tendría sentido para los intereses de cada uno de los sectores ya mencionados. Debe orientarse, establecerse y estructurarse considerando la permanente y necesaria interacción que sucede entre estos sectores, para cumplir su función ante el país.

Surge entonces la necesidad de realizar un gran esfuerzo de concentración que establezca metas y objetivos comunes, que logre la libre expresión en foros apropiados, que establezcan planes y programas de interés común y que, a pesar de todo, cada subsector mantenga su propia característica, personalidad y planes futuros.

El desarrollo tecnológico como resultado de la investigación científica se da totalmente cuando el país puede analizar experiencias concretas, en forma reflexiva, para conceptualizarlas en forma general y aplicar tales conceptos en la práctica, en un proceso que se alimenta positivamente en forma progresiva y lograr fácilmente adecuar el conocimiento universal a las condiciones de nuestro ambiente particular.

Este proceso se puede dar enteramente en el área de la distribución de energía, que cubre el territorio nacional y que comprende todo lo que las empresas de energía tienen instalado por debajo de una tensión de 115 kv. y que incluye las instalaciones particulares de cada usuario y cuya importancia se deduce de lo siguiente:

- La industria que se ha desarrollado en el país, atendiendo la demanda de los equipos necesarios para la expansión del sistema interconectado nacional, produce casi únicamente bienes y equipos de distribución.
- El sistema de distribución es una red muy extensa que prácticamente cubre el territorio habitado del país, compuesto básicamente de equipo y de materiales de producción nacional.
- La tecnología empleada en la industria de bienes y servicios corresponde a patentes, metodologías, procedimientos y prototipos desarrollados para condiciones muy diferentes a la de su real utilización.
- El alto nivel de pérdidas y la baja calidad que caracteriza el servicio de energía a nivel del usuario se genera en la mala calidad de los equipos, de la operación y del mantenimiento de los mismos. En cuanto a la distribución, los niveles superiores de 230 y 500 kv y la generación tienen índices de confiabilidad y de calidad comparables con otros países.
- Gracias a las investigaciones realizadas hasta el momento se deduce que las características particulares de nuestro medio tales como alta humedad relativa, gran altura sobre el nivel del mar, ambientes con un alto nivel de contaminación, características particulares de los fenómenos

eléctrico-atmosféricos, etcétera, impiden un buen comportamiento de los bienes y equipos fabricados con diseños y prototipos internacionales.

- Los laboratorios de la Universidad Nacional, de la Industrial de Santander, de la Universidad del Valle, el laboratorio que compró la Empresa de Energía de Bogotá (aún en bodegas por falta de obra civil) y el que ya financió parcialmente con recursos no reembolsables el gobierno italiano para el sector eléctrico (falta más o menos un 44% de los recursos necesarios para llevarlo a cabo), serían más que suficientes para realizar las investigaciones necesarias para producir los diseños, ajustados a nuestros propios requerimientos.
- La industria nacional está consciente de esta realidad, pero no tiene el recurso técnico necesario para mejorar la calidad de los productos; sus laboratorios son apenas de recepción y pruebas rutinarias y no podrían asumir la responsabilidad de analizar la problemática relacionada con el medio.
- Las universidades disponen del equipo humano, técnico y especializado para llevar a cabo acciones de amplio y complicado alcance pero tienen deficiencias de índole financiera.
- Las empresas de energía han procurado atender esta problemática y han utilizado para su concertación el Convenio de ISA-Colciencias, pero hasta el momento los recursos han sido suministrados en cantidades tan limitadas que no se han podido acometer planes de largo plazo.

Para iniciar un plan de investigación científica y de desarrollo tecnológico, se debe analizar la capacidad que para planearlo y llevarlo a cabo tienen las personas encargadas de lograrlo.

Al respecto se puede decir que infortunadamente y por falta de previsión y de planeación, en Colombia no se han capacitado investigadores, ni se han desarrollado habilidades para gestionar la tecnología que implica el desarrollo.

Por tanto, se propone que en forma concertada entre los subsectores que se han mencionado se establezca un gran plan de capacitación de corto, mediano y largo plazo que abastezca las necesidades de los tres sectores desde un nivel de doctorado, maestro, graduado y técnico en temas que sean los necesarios para llevar a cabo un plan de desarrollo en investigación y desarrollo tecnológico.

Con el fin de apoyar los planes y programas que se acuerden en el proceso de concertación, se recomienda para el sector eléctrico fortalecer y oficializar el convenio ISA y Colciencias como el mecanismo apropiado para reunir los recursos financieros necesarios para llevar a cabo los planes propuestos, para lo cual deberá dársele la posibilidad de considerar la financiación de planes de corto, mediano y largo plazo.

Para ofrecer a los subsectores mencionados los recursos técnicos necesarios para realizar los planes de investigación y desarrollo tecnológico se

recomienda promover su participación para que conjuntamente con el gobierno se establezca el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico para el sector eléctrico, como una sociedad de economía mixta.

Con el propósito de orientar adecuadamente la concertación entre estos tres subsectores, se debe contratar un estudio que analice las características de cada uno y determine la necesidad de complementación para lograr que el desarrollo tecnológico necesario se dé armónicamente y que el servicio de energía sea moderno, eficiente, confiable y económico.

#### BASES DE UN PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA EN ENERGIA Y MINERIA. COLOMBIA, FINALES DE SIGLO

*Gabriel Poveda Ramos*

El Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería debe tener los siguientes propósitos fundamentales:

- Elevar en nivel y extender en cubrimiento el conocimiento de las ciencias y de la tecnología relacionadas con los minerales, los energéticos y la energía en el país.
- Generar conocimiento científico nuevo, original y de validez internacional, a corto, mediano y largo plazo.
- Formar más científicos colombianos en todos los niveles y en numerosas áreas (no en todas).
- Robustecer y expandir la dotación de laboratorios, bibliotecas y demás recursos de infraestructura en todo el país (y no sólo en la capital).
- Divulgar ampliamente en toda la opinión pública, la importancia de la científización y la tecnificación minera y energética.

El plan debe ser eficaz y rico en resultados; debe ser relevante en sentido económico, social y científico; eficiente en el uso del tiempo y bajo en costos; original, autóctono y creativo; diacrónico y dinámico; duradero y perdurable hacia el futuro; abierto a todo participante nacional capaz de ejecutar proyectos, así como a posibles temas nuevos; tiene que ser ampliamente divulgado entre la comunidad científica y tecnológica y entre todos los interesados; descentralizado en su ejecución y con amplia participación del mayor número de ciudades, regiones, instituciones y científicos.

Prioritariamente debe incluir las siguientes áreas:

- Geología y geociencias (todas) aplicadas a Colombia.
- Mineralogía y cristalografía de minerales.
- Tecnología minera extractiva y tecnificación de minas.
- Todo lo atinente a carbón, según el Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero.

- Caracterización y tipología de minerales.
- Combustión de combustibles fósiles y de sus derivados.
- Gasificación y pirólisis de carbón.
- Física de minerales y transformados.
- Química y electroquímica de minerales.
- Química del silicio y del aluminio. Polisilicatos.
- Química de la cal.
- Transporte y manejo mecánico de minerales.
- Química de minerales y de cationes tóxicos carcinógenos.
- Cerámicas de minerales colombianos: procesos, propiedades, mejoramiento.
- Carborreducción de óxidos y sulfuros metálicos.
- Exploración nacional para buscar ferrominerales.
- Exploración nacional para buscar minerales de aluminio para uso metalúrgico y uso químico.
- Diseño y construcción de nuevas máquinas y equipos para minería e industrias transformadoras.
- Microbiología y minerales.
- Salud, higiene y seguridad mineras.
- Ecología y ambiente de minas y plantas procesadoras.
- Normalización de materiales, de producción y de procedimientos.

Entre los proyectos específicos para investigación y desarrollo vale la pena destacar:

- Ciencias de la tierra (geociencias) aplicadas a Colombia:
  - Mineralogía y cristalografía colombianas.
  - Física y química básicas de minerales colombianos.
  - Mapa geológico colombiano en escala fina.
  - Nuevos procedimientos en geoquímica, gravimetría y geomagnetismo.
  - Nuevas aplicaciones de sismología para minas (minerales no convencionales).
  - Muestra nacional de mineralogía colombiana.
- Prospección y exploración de minerales y de hidrocarburos:
  - Mejoramiento de técnicas y métodos de aforo de yacimientos, especialmente en carbón, calizas, cobre.
  - Plan nacional de prospección de nuevos yacimientos de hierro, aluminio, manganeso, cromo y sal gema.
  - Ampliación del programa actual de exploración petrolera.
- Beneficio de minerales, metalurgia extractiva y manejo de minerales:
  - Beneficio de minerales de hierro de bajo tenor y a escala industrial.
  - Estudios para tecnificar y aumentar la producción de sal marina en La Guajira.

- Desarrollo de procesos y equipos de lavado y limpieza de carbón de pequeñas minas.
- Diseños autóctonos de maquinarias y equipo para cualquiera de estos procesos de beneficio, manejo y metalurgia extractiva de minerales.
- Lixiviación bacteriana de minerales de cobre (adaptación y mejoramiento).
- Desarrollo en laboratorio de tecnologías apropiadas para obtención de óxidos de uranio y torio de minerales de bajo tenor.
- Búsqueda documental, en laboratorio y en planta piloto, de tecnologías apropiadas para beneficio de roca fosfórica colombiana.
- Desarrollo de tecnologías apropiadas en pequeña escala para prerreducción directa de ferrominerales con carbón y con gas natural.
- Desarrollo en laboratorio y en planta piloto de procesos electroquímicos para obtener directamente metales de sus menas y minerales (por ejemplo: metales preciosos, cobre, aluminio).
- Beneficio de nódulos oceánicos polimetálicos del Pacífico.
- Mecánica de minerales y de sus operaciones de beneficio.
- Programa permanente de asistencia técnica y mecanización a pequeños y medianos mineros.
- Identificación de materiales, originales y novedosos, que sean medios de flotación para minerales.
- Desarrollo y divulgación de normas sobre calidad de minerales beneficiados y sobre seguridad industrial en minas y plantas de beneficio.
- Investigación en hidromecánica teórica aplicada al transporte de lodos de minerales.
- Salud y seguridad minera:
  - Ergonomía de los oficios mineros.
  - Programación y mejoramiento de métodos para prevenir enfermedades pulmonares del minero (especialmente silicosis, neumoconiosis, siderosis).
  - Programa permanente de asistencia técnica en salud y seguridad minera.
  - Desarrollo y divulgación de normas sobre salud y seguridad minera.
- Aprovechamiento energético de combustibles fósiles:
  - Investigación teórica y aplicada sobre combustión de carbón: grueso, pulverizado, mezclas densas binarias y ternarias y mezclas con subproductos agrícolas.
  - Diseño de bienes de capital y construcción de prototipos originales y novedosos para convertir equipos de combustión de hidrocarburos a combustión de carbón.
  - Desarrollo de técnicas para convertir cocinas y hogares (domésticos) de hidrocarburos líquidos y leña a briquetas de carbón.

- Descontaminación de humos, gases y productos de combustiones de combustibles fósiles.
- Estudio del aporte de Colombia frente al mundo sobre el efecto de invernadero.
- Ecología y ambiente en minería y en beneficio de minerales:
  - Normalización sobre limpieza y sanidad ambiental minera.
  - Desarrollo y adaptación de métodos y equipos para descontaminar aguas y atmósfera.
  - Asistencia técnica a la pequeña y mediana minería en sanidad, limpieza y conservación del ambiente.
- Transformación industrial (primera etapa mineroindustrial):
  - Desarrollo de métodos y equipos novedosos, originales más baratos para gasificar carbón.
  - Pirólisis y coquización de carbones colombianos, *coquizables* o no.
  - Diseño y construcción de prototipos de aparatos y equipos para primeros procesos mineroindustriales.
  - Identificación y prefactibilidad de 10 proyectos mineroindustriales en el país.
  - Estudios de mercados mundiales para productos del sector.
  - Identificación de tecnologías para pequeños altos hornos.
  - Producción industrial (tecnologías y diseños) para argamasa y piezas que sean de mezclas binarias o ternarias de cal y yeso con arena y/o arcillas, de muy bajo costo para vivienda social.
  - Electrocarburización y electroquímica sólida de minerales.
  - Desarrollo de tecnología para grafitación de carbones nacionales.
  - Desarrollo de tecnología para plantas de menor escala para urea a partir del gas natural.
  - Desarrollo de tecnología para plantas de menor escala para amoníaco a partir del gas natural.
  - Los proyectos serán elegidos de acuerdo con la importancia económica de los resultados posibles, el interés científico o técnico de los temas, su beneficio social y humano, la factibilidad técnica de los proyectos dentro del país, la prontitud de resultados previsibles, la urgencia del tema o problema y su bajo costo.
  - Para aprobar un proyecto, es preciso exigirle las siguientes condiciones ineludibles:
    - \* Que sean importantes y útiles, para la ciencia, para la tecnología, para la economía y para el país.
    - \* Que se pueda realizar correcta y completamente, a lo sumo en cinco años, hasta tener resultados publicables.
    - \* Que se comprometan a publicar y divulgar adecuadamente el trabajo y sus resultados y que prevean el gasto correspondiente de publicación y divulgación en el presupuesto del proyecto.

- \* Que sea autóctono y original.
- \* Que presente una integridad clara y una unidad hasta los resultados.
- \* Que tenga un cronograma, bien definido.
- \* Que satisfaga holgadamente el juicio favorable respecto a cuatro de los siete criterios mencionados anteriormente.
- \* Que cueste, a lo sumo, el equivalente en pesos de dos millones de dólares, o cinco millones si es en tecnología petrolera.
- \* Que acepte una interventoría permanente por quien señale Colciencias o quien haga sus veces.

### **Principales actividades de la investigación y del desarrollo necesarias en un proyecto**

1. Estudios geológicos y otros de campo sobre el terreno.
2. Estudios de aerofotogrametría y cartografía.
3. Experimentación en el terreno.
4. Mediciones y experimentación en minas.
5. Asesoría técnica a minas e industrias existentes.
6. Estudios clínicos y médicos.
7. Estudios sociales en el terreno (aplicado).
8. Instrucción y capacitación práctica especializada a obreros.
9. Estudios de ingeniería en las minas.
10. Trabajos experimentales de laboratorio.
11. Adquisición o construcción de equipos experimentales.
12. Diseño de aparatos y equipos para aplicaciones industriales.
13. Construcción de aparatos e instalaciones experimentales de laboratorio.
14. Construcción de plantas-piloto.
15. Ensayos y pruebas en plantas-piloto o en aparatos industriales.
16. Diseño conceptual de plantas industriales completas.
17. Estudios de prefactibilidad técnica y económica de proyectos específicos.
18. Estudios de ingeniería en planta industrial.
19. Creación de instituciones.
20. Acopio y sistematización de documentación y bibliografía en el país y en el exterior.
21. Investigaciones en bibliotecas y en centros de documentación del país o del exterior.
22. Formación de redes nacionales de documentación o de bancos de datos.
23. Formación de bancos o de bases de datos.
24. Redacción de manuales y de informes.
25. Elaboración de normas técnicas.
26. Estudios matemáticos y estadísticos.
27. Control y supervisión de participantes.
28. Intercambio de información entre protagonistas.

29. Divulgación pública escrita, radial y televisiva de normas, métodos, prácticas, etcétera.
30. Divulgación selectiva escrita de información técnica (nacional y extranjera).
31. Computación y programación avanzada.
32. Capacitación de posgraduados.
33. Estudios económicos.

### **Regionalización del Programa de Investigaciones en Energía y Minería**

Se definen como regiones descentralizadas, y cubiertas por el Programa Nacional de Ciencias Básicas:

- Bogotá y gobierno central; Costa y mar Caribe; Antioquia; viejo Caldas; alto Cauca y Pacífico; Tolima grande y Magdalena medio; nordeste, Orinoquia; Amazonia.
- Coordinación: comité coordinador interregional (con sede que no sea en Bogotá).
- Funciones a nivel de región:
  - Inventariar personas, empresas y recursos para investigación; proponer temas prioritarios; administrar fondos; coordinar protagonistas a escala regional
- Dirección en la región: comité regional de D y T con una secretaría ejecutiva permanente.

Modalidades de generación y ejecución de proyectos:

- Programas específicos, iniciados y cofinanciados por Colciencias, de duración abierta. V.gr.: sobre *issues* públicos de alto contenido científico.
- Proyectos específicos con término fijo, determinados, contratados y pagados por Colciencias. V.gr.: construir un laboratorio, etcétera.
- Proyectos específicos originales en personas privadas o en instituciones públicas (distintas a Colciencias), aprobadas y cofinanciados parcialmente por Colciencias.
- Proyectos específicos originados fuera de Colciencias, adoptados y totalmente pagados por ésta.
- Proyectos específicos de entidades privadas u oficiales, costeados totalmente por ellas pero registrados por Colciencias y coordinados por ella con otros proyectos.

### **Financiación**

#### **a. Fuentes de fondos:**

- Presupuesto del gobierno central, seccionales, municipales y regionales.
- Instituciones cofinanciadoras del investigador.

- Aportes, préstamos o donaciones de instituciones y entidades oficiales y privadas patrocinadoras.
- Empréstitos de la banca internacional al gobierno o a entidades públicas.
- Donaciones, aportes o préstamos de Unesco, Pnud, Pnuma, Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, DECD, y otras organizaciones internacionales y de gobiernos amigos que traigan condiciones aceptables.

*b. Formas de gasto*

- Contratos y convenios Colciencias-instituciones-investigadores.
- Préstamos de Colciencias u otros a instituciones investigadoras.
- Donación a instituciones investigadoras.
- Préstamos y/o donaciones a fondos regionales para financiar C y T descentralizadas.

Para cada proyecto se deben escribir, publicar y difundir:

- Artículos eruditos, para los colegas que sean especialistas, en revistas científicas extranjeras y nacionales de gran calidad. De estas últimas hay que consolidar las pocas que existen y fundar las que faltan.
- Artículos culturizadores: los que trasforman la alta ciencia especializada y hierática en cultura nacional e internacional.
- Divulgación académica hacia profesores y estudiantes universitarios, profesionales, artistas, etcétera, y que cree relaciones interdisciplinarias.
- Divulgación popular: hacia todo el público, aun los iletrados, para explicar que se hace en el trabajo y por qué éste le conviene a la población.

Como elemento culturizador se debería constituir un museo nacional de ciencia y tecnología al estilo de los de Chicago, Detroit, Munich, Londres, Milán (Museo Da Vinci) y otros, pero con mucho material colombiano. Sería una gran herramienta de motivación para jóvenes; de enseñanza para estudiantes; de presentación para Colciencias; de investigación para científicos, etcétera.

Es conveniente crear un centro unificado documental de investigaciones colombianas, que contenga todo el material estudiado y que se escriba en cada proyecto.

## EL INGEOMINAS Y EL PROGRAMA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA EN ENERGIA Y MINERIA

*Adolfo Alarcón Guzmán*

El Programa de Ciencias y Tecnología, como lo decía el señor Presidente de la República en la instalación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, tiene tres retos:

- Impulsar en forma generalizada los procesos de innovación.
- Consolidar la capacidad científica.
- Contar con una ejecución ágil y eficiente de los recursos.

El país necesita un programa de acción coordinada para realizar investigación científica en las áreas de energía y minería. Los resultados de este programa deberán producir en un tiempo relativamente corto, el conocimiento acerca de características y potencialidades que permitan el uso racional y eficiente de los recursos. Las entidades que por interés u obligación tienen que ver con este campo, deben establecer planes que hagan uso óptimo de las metodologías y los recursos para desarrollar la temática de investigación.

El Programa de Desarrollo Minero debe estar conformado por los siguientes elementos o acciones estratégicas: Plan Minero Nacional, identificación de recursos, aprovechamiento racional de los recursos, promoción, fomento y negociación, sistema de información minera y capacitación.

El Plan Minero como proyecto permanente, concertado con el sector privado y las comunidades, debe tener como componentes las otras acciones. Su coordinación desde el Ministerio de Minas garantizará la acción de las demás entidades del Estado y del sector privado. En estas acciones la innovación y desarrollo tecnológico son pilares fundamentales.

Las labores cartográficas se complementarán con la identificación de índices de mineralizaciones, para lo cual se hace necesario un proyecto permanente sobre minerales estratégicos para el desarrollo económico, que oriente también nuestra cartografía hacia la prospección de esos minerales.

Se requiere investigación detallada en geología, geofísica, geoquímica y geomorfología de Colombia.

La prospección, exploración y caracterización de los recursos minerales debe responder a un plan minero definido por el Ingeominas y cubrir la prefactibilidad y la factibilidad.

También debe realizarse prospección, evaluación y uso de las aguas subterráneas.

Debe realizarse investigación y transferencia de tecnología en actividades mineras: planeamiento y desarrollo, diseño de métodos de explotación, equipos, investigación en mitigación ambiental y recuperación de terrenos.

Es necesaria la investigación sobre valorización de minerales, la cual incluye el estudio de mercado de minerales. Esta debe integrar los recursos existentes en todas las entidades y reunir a los técnicos en geología, mineralogía y química para el desarrollo y mejora de procesos tecnológicos.

El plan debe asegurar el componente de investigación para lograr el fortalecimiento o creación de la industria minera, permitir la organización industrial rentable, descubriendo nuestras propias metodologías. Varias

entidades en razón a su área de especialización podrán contribuir a fortalecer un programa de promoción y fomento.

Para la negociación y transferencia de tecnología debe tenerse en cuenta la experiencia de Colciencias, Carbocol y de varios organismos del gobierno central. Se requiere crear grupos de trabajo y apoyar a los equipos de investigación. Cada proyecto minero, cada contrato debe dejarle al país avances tecnológicos, enriqueciendo las entidades, las universidades y la industria nacional. Estos grupos tienen que asesorar igualmente en la compra de tecnología a estas entidades asegurando la continuidad, productividad y asistencia permanente.

La comercialización y mercadeo deben ser fortalecidos con un progresivo programa de internacionalización en el mercado de materias primas minerales industriales.

La información minera es primordial para el desarrollo del sector. Debe estar coordinada por el Min-Minas, en lo referente al registro minero y todas aquellas variables del campo de la investigación. Dado que el Ingeominas es un generador de ella en todos los aspectos técnicos, debe ser uno de sus grandes alimentadores. Sin embargo, es necesario generar un programa que incluya los aspectos técnico-ambientales, económicos y sociales, con una clasificación de información: la de conocimiento público y aquella con valor agregado. Esto permitirá aprovechar las ventajas comparativas de nuestros recursos. Cada entidad manejará sus bases de datos pero debe alimentar con la información necesaria al núcleo central.

Se requiere emprender con el apoyo de Colciencias, las universidades, Ingeominas y Colfuturo un programa intensivo de especialización de profesionales que prestarán servicio al Estado y a la industria minera. En esta tarea tendrían cabida además otros institutos de formación de investigadores y personal calificado, a través de programas e investigación académica; los institutos oficiales de investigación en el sector, como el Ingeominas; las instituciones encargadas de la transferencia de conocimiento y de la explotación del mismo, como Mineralco; el sector productivo y el sector comercial y las entidades generadoras de políticas, las de fomento, las normativas y supervisoras.

Como primeras etapas y que creemos son necesarias en el proceso de reorganización que abren el paso a la modernización de Ingeominas, se emprenden las siguientes acciones estratégicas:

#### *En geología*

- Estudiar el origen, la evolución, la composición y el comportamiento de las rocas y demás unidades que conforman la parte superficial de la corteza terrestre tanto en el área continental como en las áreas submarinas de Colombia.

- Promover y desarrollar la aplicación de tecnologías modernas como los sensores remotos y la geoinformática, a la caracterización geológica y geomorfológica del territorio colombiano.
- Definir claramente las líneas de investigación prioritarias para el instituto en el campo de la geología, necesarias para el estudio del origen, la evolución, la composición y el comportamiento de las rocas en el territorio colombiano.
- Elaborar el plan para actualizar la carta geológica del país especificando una metodología apropiada y teniendo en cuenta objetivos estratégicos de carácter nacional.
- Establecer metodologías adecuadas para la obtención de información litológica (muestras de rocas y sedimentos), elaborando manuales e instructivos que orienten los trabajos de campo y laboratorio.
- Modernizar y complementar los laboratorios para estudios geológicos como base para el fomento de la investigación.
- Organizar el centro de información geológica, compilando y sistematizando todos los estudios geológicos adelantados, tanto por el Ingeominas como por otras entidades públicas y privadas y clasificando la información de acuerdo con diferentes criterios de aplicación tales como, períodos geológicos, uso potencial, etcétera.

*En recursos minerales e hídricos:*

- Realizar estudios e investigaciones de prospección y exploración de los recursos minerales del país para determinar su origen y distribución y estimar las reservas.
- Realizar estudios e investigaciones sobre planeamiento y desarrollo de proyectos mineros, el estudio de mercado de minerales y la evaluación de los problemas ambientales asociados con la minería.
- Realizar estudios hidrogeológicos para evaluar el potencial y los posibles usos de las aguas subterráneas en el país.
- Fortalecer y reorientar la investigación y exploración de los recursos minerales del país, con el objeto de dar debida consideración no sólo a los aspectos geológicos, sino también a los demás factores técnicos y económicos involucrados en desarrollo minero, tales como la planeación de proyectos, técnicas de explotación, tratamiento y beneficio, almacenamiento y transporte, estudio de mercado de minerales y la evaluación de problemas ambientales.
- Definir un plan de investigación y prospección de minerales estratégicos, de conformidad con las prioridades que establezca el Ministerio de Minas y el Plan de Desarrollo del Sector Minero, agrupando los minerales por investigar, así:
  - Metales y piedras preciosas.
  - Minerales y materiales de uso industrial.

- Minerales y materiales de uso agroindustrial.
- Materiales de construcción.
- Minerales energéticos.
- Organizar un grupo interdisciplinario que se encargue de adelantar estudios de minería a nivel de prefactibilidad, procurando la integración entre el campo geológico y químico, y la participación de disciplinas como la geología económica, ingeniería de minas y metalúrgica, etcétera.
- Definir y ejecutar el plan de exploración de aguas subterráneas teniendo en cuenta las necesidades del país y el potencial hidrogeológico.
- Elaborar mapas hidrogeológicos a escalas adecuadas como fuente de información básica para la solución de problemas de abastecimiento de agua a la comunidad.
- Impulsar la renovación de equipos de perforación para minería y aguas subterráneas y la capacitación de personal de perforación.
- Nuestra propuesta es integrar el Programa de Ciencia y Tecnología del Sector Minero, para conseguir las metas del Plan Nacional de Desarrollo, garantizar un plan minero y fortalecer la producción científica nacional.

La coordinación de un plan del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología hace necesario la claridad y ajuste de la política de ciencia y tecnología para el sector minero, donde Colciencias, los ministerios, las universidades, institutos y centros de investigación complementen su acción para cumplir los objetivos del plan. Del inventario de recursos, realizado por Colciencias, deben identificarse las potencialidades regionales de cada una de las entidades, fortaleciendo en ellas los grupos de investigación y buscando resolver los problemas planteados en los planes regionales y departamentales, lo mismo que de la industria local.

## CARBOL, COMO ENTE PROMOTOR DE LA INVESTIGACION Y EL DESARROLLO EN EL SECTOR CARBONIFERO

*Carbocol*

### Introducción

Es conocido por todos el papel estratégico que desempeñará el recurso carbonífero en el panorama energético mundial, por lo menos durante la primera mitad del próximo siglo, por ser considerado como un combustible de transición entre los combustibles fósiles tradicionales y las llamadas energías limpias, por la relativa abundancia de sus reservas mundiales frente al petróleo y por considerarse como una fuente segura de energía frente a la vulnerabilidad de los precios del petróleo que varían en virtud de los problemas internacionales que se generen con los grandes países productores del hidrocarburo.

En Colombia, cerca del 70% de la producción total del carbón corresponde al mercado de exportación, el cual es atendido por un número reducido de proyectos de gran minería. El mercado doméstico, abastecido en su mayoría por la minería tradicional, está destinado a la generación de energía eléctrica y de energía primaria y secundaria en la industria. En cuanto a los usos no energéticos del carbón, el país solamente utiliza el mineral para aplicaciones metalúrgicas.

En relación con la distribución por sectores del uso del carbón térmico, el sector eléctrico tiene una participación que puede alcanzar niveles hasta del 25% (en 1990 el consumo de carbón térmico fue de 4,8 millones de toneladas) dejando el saldo para distribuirlo en el sector industrial principalmente entre las industrias cementera, ladrillera, papelera y en menor escala la industria de alimentos.

En términos generales, las tecnologías empleadas en el país para el proceso de combustión del carbón son tecnologías tradicionales de parrilla y carbón pulverizado, sin que se le haga algún tratamiento de preparación y beneficio al recurso. Son pocas las industrias que han optado por la cogeneración y muy pocas también las que tienen en cuenta dentro de sus costos de operación y producción, las variables ambientales, en los niveles que les debe corresponder.

Hoy en día, el país ha ido entendiendo que el carbón además de constituir una importante fuente de divisas, puede ser un excelente eje de desarrollo, pues a través del aumento de su valor agregado es posible generar empleo, apoyar la pequeña y mediana minería y promover la sustitución de hidrocarburos líquidos, de forma que se convierta no sólo en una fuente de riqueza sino también de progreso.

Las oportunidades para el desarrollo tecnológico que brindan las grandes exportaciones mineras, la necesidad de tecnificar los proyectos tradicionales y la urgencia de incrementar el uso del carbón y de darle obviamente un mayor valor agregado, le ofrecen una gran oportunidad a la ciencia y a la tecnología para continuar siendo competitivos en el mercado internacional y enfrentar los retos tecnológicos asociados a las restricciones ambientales del uso del carbón.

Es así como, con el conocimiento de estos desarrollos tecnológicos se podrán definir en los diversos procesos de utilización del carbón, los puntos críticos que son posibles generadores de problemas ambientales, en el aire, agua y suelos (conservación de cuencas, deforestación, recuperación de terrenos, etcétera) para poder así identificar, dentro del abanico de tecnologías existentes para la mitigación y control de los efectos ambientales, las que técnica y económicamente deban emplearse.

Colciencias y el Ministerio de Minas y Energía conscientes de la tarea de promover la investigación científica en el sector carbonífero presentaron al país en el año 1985 el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología en

Recursos Energéticos, en el cual se planteaba como uno de los subprogramas prioritarios el de desarrollo carbonífero, con algunas estrategias concretas como la creación de un fondo para apoyar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en este subsector energético.

### *Diagnóstico*

En diciembre de 1985 se constituyó el Fondo Nacional de Investigación del Carbón, Fonico, con el cual se vienen aunando esfuerzos entre Carbocol y Colciencias para cumplir básicamente los siguientes objetivos:

- Promover el desarrollo científico y tecnológico de los carbones colombianos.
- Delinear las pautas generales para orientar las actividades de ciencia y tecnología en el sector carbonífero, conducentes a impulsar y tecnificar su consumo interno y a aumentar su valor agregado.
- Impulsar y financiar proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico tendientes a conocer las posibilidades técnicas del carbón en sus usos energéticos y no energéticos, y a mejorar las condiciones actuales de explotación y transformación.
- Apoyar la formación de los recursos humanos para absorber, emplear y desarrollar técnicas y métodos de explotación, manejo y transformación de carbones.
- Consolidar la infraestructura física necesaria para atender el desarrollo científico y tecnológico del recurso carbonífero.

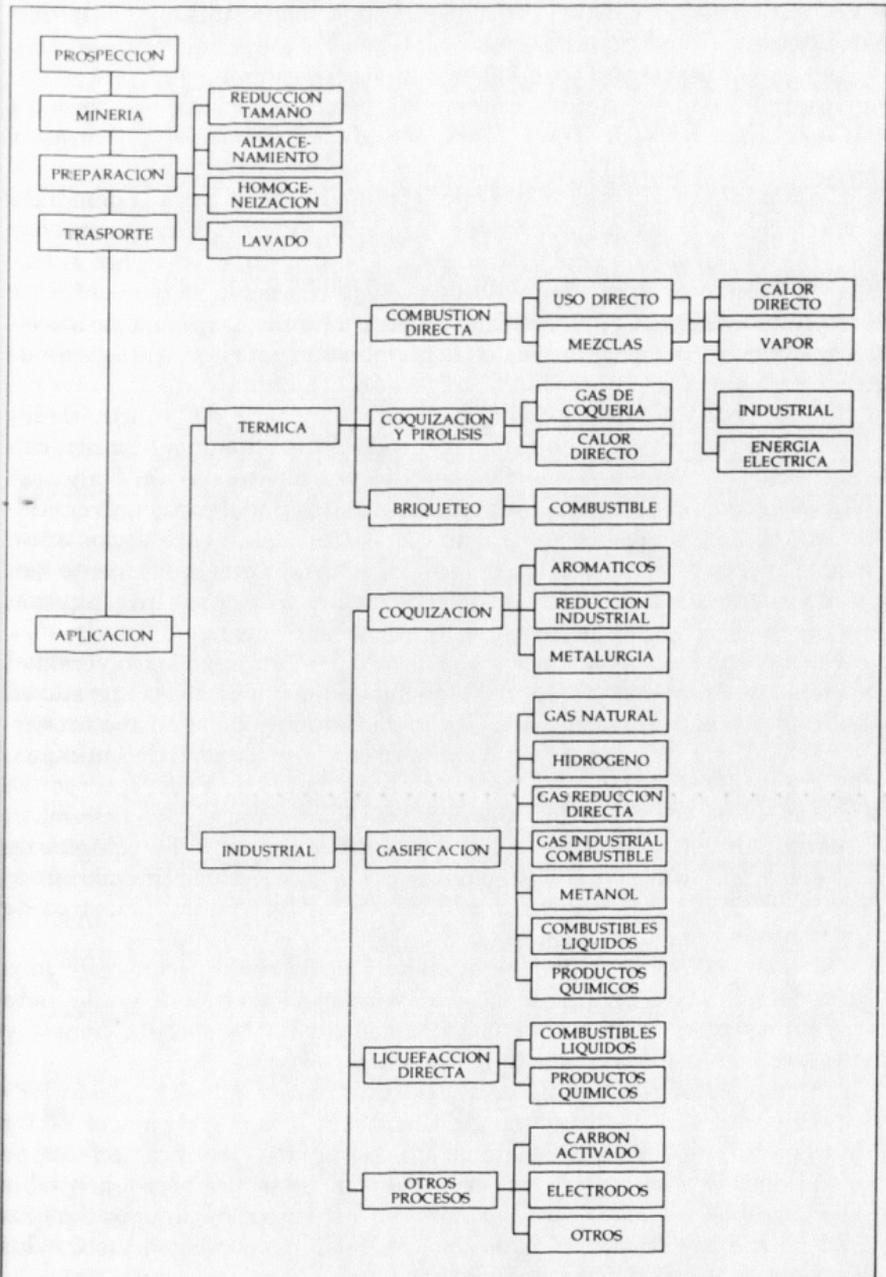
Para cumplir estos objetivos, el Fonico contó inicialmente con un presupuesto de 800 millones, aportados por cada institución por partes iguales. Hasta la fecha se han financiado 24 proyectos a diferentes universidades, centros de investigación y firmas consultoras, en diversos temas relacionados con el carbón. Dichos proyectos tienen un valor total de 1 483 millones de pesos, de los cuales 779 millones son aportados por el Fonico.

En diciembre de 1991, fecha en que se cumplió el período de duración (seis años) establecido en el convenio marco del Fonico, se firmó un convenio adicional al mencionado, en el cual se consideró un período de duración de un (1) año, prorrogable anualmente hasta por seis (6) años y un aporte anual por cada entidad hasta por \$200 millones.

Es de anotarse que, en cumplimiento de las orientaciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, el Fonico en esta su segunda etapa, se acogerá a las normas establecidas por el Consejo del Programa de Investigaciones en Energía y Minería.

De la amplia gama de potencialidades de utilización del carbón, en la figura 1 se muestran en forma reducida los procesos tecnológicos generales del carbón que a juicio de Carbocol y Colciencias podrán tener alguna

FIGURA 1. Procesos tecnológicos generales del carbón.



aplicación en Colombia, lo cual a su vez ofrece un amplio panorama de temas que han sido y serán objeto de investigación científica y desarrollo tecnológico.

Para mayor ilustración en el folleto que se les ha suministrado encontrarán los títulos de los proyectos terminados y en ejecución que han contado con la cofinanciación del Fonico, a más de toda la información relacionada con ese fondo.

Como podrá observarse en el listado de proyectos, es poca la demanda por los temas de investigación sobre geología, minería, almacenamiento y transporte, situación que obviamente variará una vez se comience a ejecutar la propuesta en el Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero. Sobre los demás temas existe un aumento gradual de iniciativas para la ejecución de proyectos, especialmente para las investigaciones relacionadas con los procesos de conversión del carbón.

En este orden de ideas, se considera que gran parte de las actividades científicas y tecnológicas que se han realizado y que actualmente se realizan en el sector carbonífero, se han canalizado por intermedio del Fonico, sin dejar de reconocer esfuerzos puntuales realizados por algunas universidades que se han interesado en el tema del carbón desde hace varios años, incluso antes de la constitución del fondo, esfuerzos que básicamente han estado orientados a fortalecer su infraestructura física para investigación y a capacitar el grupo de investigadores con que cuentan.

Vale la pena mencionar entonces, el Centro del Carbón en la Universidad Nacional de Colombia —Seccional Medellín— que impulsó el postgrado en Ciencia y Técnica del Carbón, el Grupo de Carbones de la misma universidad en Bogotá, el Grupo de Carboquímica en la Universidad de Antioquia, el Grupo de Investigación de la Universidad del Valle que se ha dedicado con énfasis a los trabajos sobre las cenizas del carbón, el Grupo de Investigadores de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, el Grupo de Investigadores de la Universidad Industrial de Santander y el Grupo de Investigadores de la Universidad Francisco de Paula Santander.

En todas estas universidades existen trabajos de investigación realizados fuera del marco del Fonico, que en su mayoría han sido tesis de grado, pero que representan un componente adicional de las labores de ciencia y tecnología sobre carbón que se realiza en el país.

Como resultado de un sondeo que el Fonico realizó a finales del año 1989 y corroborado en el Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero, consultando solamente a la comunidad científica nacional, se puede decir que el país cuenta con una infraestructura básica aceptable para investigación, sin dejar de reconocer que carece de algunos equipos especializados y de plantas piloto que permitan realizar ensayos sobre los procesos de transformación del carbón.

En dicho sondeo se encontró que existen 15 centros que actualmente realizan algún tipo de investigación y que reúnen un total de 118 investigadores que trabajan de alguna forma el tema del carbón, especialmente en las áreas de exploración, extracción, beneficio, caracterización, transformación y mezclas.

Las regiones de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Valle del Cauca presentan las mejores dotaciones de equipos y el mayor número de profesionales especializados para enfrentar las actividades científicas y tecnológicas.

Sobre el recurso humano con que cuenta el país, puede mencionarse que el 50% de los investigadores tienen formación en ingeniería química, y química, seguidos por los ingenieros de minas y los metalúrgicos y finalmente por un pequeño grupo de disciplinas sociales conformado por sociólogos, antropólogos, economistas, etcétera.

## Prioridades de investigación y desarrollo para el sector carbonífero

### *Estrategia actual*

En un esfuerzo por identificar las líneas de acción prioritarias y las estrategias que permitan orientar la investigación científica y el desarrollo tecnológico del sector carbonífero del país, el Fonico diseñó, consultando con el gobierno, la universidad, la industria y los productores del carbón, unos puntos de arranque para visualizar las perspectivas del sector y para definir las prioridades que se deben tener en investigación y desarrollo.

De esos puntos se destacan tres, sobre los cuales se viene trabajando tanto en lo que compete a la ciencia y a la tecnología del carbón como en la identificación de las prioridades de trabajo hacia el futuro, con miras a poder asignar recursos financieros sustentados en criterios de selección de proyectos claramente definidos. Estos son:

1. Definición de políticas y prioridades para la investigación científica y el desarrollo tecnológico del sector carbonífero colombiano.
2. Articulación y coordinación de las actividades científicas y tecnológicas asociadas al carbón.
3. Difusión y divulgación de resultados de investigación y de información científica y tecnológica sobre carbón.

La estrategia diseñada para abordar el primer punto consistió en la estructuración de un Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero. Esa estructuración fue adjudicada por el Fonico a una firma consultora nacional, la cual ya entregó el informe final, documento base para plantear como se verá más adelante, las prioridades de investigación y desarrollo para el sector carbonífero.

Sobre el segundo punto que hace referencia a la integración necesaria a nivel nacional para la coordinación de las actividades de ciencia y tecnología del carbón, el Foníc propuso la conformación de una red de comités regionales que tengan su representación en un Comité Nacional Asesor del Foníc.

Se definieron cinco (5), así: Norte (Atlántico, Córdoba, La Guajira y Cesar), Nordeste (Santander y Norte de Santander), Noroeste (Antioquia), Centro (Cundinamarca y Boyacá) y Sur (Valle del Cauca), los cuales ya se reunieron por primera vez, convocando a nivel regional representantes del gobierno, de los productores de carbón, de los comercializadores, de los consumidores y de las universidades.

Esos comités tienen un representante (investigador de la comunidad científica nacional) que es el vocero de los intereses particulares de cada región en el Comité Nacional Asesor del Foníc y a los cuales se les encomendó los siguientes objetivos:

- Propiciar un espacio para la discusión de las inquietudes regionales referentes al sector carbonífero, en sus aspectos científicos y tecnológicos.
- Promover propuestas regionales concertadas sobre el desarrollo de la industria carbonífera en lo referente a investigación científica y desarrollo tecnológico de acuerdo con las necesidades regionales.
- Coordinar las actividades regionales y nacionales referentes a la red de información y a la red de laboratorios que se pretende estructurar.
- Promover las actividades de fomento y la difusión de los resultados que se generen a partir de los proyectos financiados por el Foníc.
- Prestar asesoría en la elaboración del Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero y en la definición de las políticas de investigación y desarrollo para ese sector.

La aplicación de esta estrategia está acorde con lo dispuesto en el Decreto 585 del 26 de febrero de 1991, por el cual se creó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Finalmente, en relación con el último punto planteado sobre perspectivas del sector, se consideró importante establecer unos canales permanentes para el intercambio de información representados por boletines técnicos, carteles, videos y revistas que circulen entre los interesados en el tema del carbón, mediante los cuales se pueda divulgar información técnica actualizada y avances de investigaciones.

Al respecto, el Comité Técnico Directivo del Foníc recientemente aprobó la realización del proyecto "Promoción y divulgación de las actividades del Foníc", a través del cual se coordinará la realización de todo el material informativo antes detallado, a más de apoyar financieramente a los comités regionales mencionados con anterioridad.

Igualmente, para la divulgación de los resultados obtenidos de los proyectos de investigación, ya sean financiados por el Fonc o por otras fuentes de recursos, se consideró necesario institucionalizar cada dos (2) años la realización del Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, mediante el cual se establezca un espacio para la presentación y discusión de los avances tecnológicos nacionales y para la confrontación periódica de las prioridades de investigación y desarrollo nacionales con los desarrollos internacionales sobre carbón, que se logre convocar a dichos congresos.

Al respecto, es de mencionar que Carbocol y Colciencias con la colaboración de la Universidad de Antioquia realizaron el I Congreso, el cual se llevó a cabo en la Universidad de Antioquia, en 1991.

### *Criterios considerados*

Desde el punto de vista de Carbocol, los criterios básicos para entrar a sugerir unas prioridades de investigación y desarrollo para el sector carbonífero del país, son los siguientes:

- Desarrollar investigación y desarrollo en el espectro más amplio de la cadena industrial del carbón, desde su exploración hasta su consumo final.
- Propender por una permanente interacción entre las necesidades del mercado y la investigación y desarrollo, con el objeto de que éstas sean lo más aplicables posible y no teóricas, aumentándose así el consumo interno del carbón y el de su valor agregado.
- Impulsar proyectos de investigación y desarrollo con objetivos de desarrollo nacional y regional, incorporándolos dentro de un plan energético integrado.
- Ampliar la capacidad de investigación y desarrollo a través del fortalecimiento e integración del trabajo de las universidades, centros e institutos de investigación y del sector productivo público y privado.
- Formar recursos humanos para apropiar, emplear y desarrollar técnicas y métodos de explotación, manejo y transformación de carbones, así como el fortalecimiento de su capacidad negociadora.
- Promover y divulgar el desarrollo científico y tecnológico de los carbones colombianos.

Igualmente, se deben tener en cuenta los lineamientos del Plan de Desarrollo Económico y Social del actual gobierno, que para el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería y la gestión ambiental, son los siguientes:

- Desarrollo de tecnologías que permitan el uso eficiente y ambientalmente seguro de los recursos energéticos y que impulsen la mayor participación del carbón dentro del balance energético nacional.

- Las líneas de investigación propuestas se diferenciarán tajantemente de los estudios descriptivos o de preinversión y funcionarán en estrecha coordinación con las entidades nacionales responsables del manejo y suministro de los recursos energéticos y con las universidades a través de los convenios suscritos por Colciencias.

### *Temas identificados*

Partiendo del criterio básico: desarrollar investigación y desarrollo en el espectro más amplio de la cadena industrial del carbón, desde su exploración hasta su consumo final, Carbocol sugiere sean considerados en la estructuración del Programa de Investigación en Energía y Minería los temas que a continuación se relacionan y los cuales incorporan o agrupan gran parte de los propuestos por el Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero. Estos son:

#### *Geología*

Geognosia y geología del carbón  
Explotación minera

#### *Caracterización tecnológica*

Física y química de carbones y coques colombianos

#### *Almacenamiento y transporte*

Trasporte largo en superficie

#### *Preparación y beneficio*

Lavado de carbones  
Briquetación y grafitación  
Mezclas densas: carbón-agua, carbón-crudos pesados  
Activación

#### *Procesos de conversión*

Gasificación de carbón para gases combustibles  
Pirólisis de carbón  
Coquización del carbón  
Carboquímica  
Carbosiderúrgica  
Hidrocarburización

#### *Combustión*

Combustión del carbón y de sus derivados

*Aspectos ambientales asociados**Seguridad industrial*

Higiene, salud y seguridad para trabajadores del carbón

*Promoción y divulgación*

Medios indispensables para información y divulgación

*Conclusiones y recomendaciones*

Las principales conclusiones y recomendaciones del presente documento son las siguientes:

- El Fonico ha contribuido significativamente a la consolidación de la capacidad científica y tecnológica en áreas relacionadas con el sector carbonífero colombiano y se espera que, en un futuro próximo contribuya al incremento y diversificación del uso del carbón, mediante el aumento del conocimiento y el desarrollo y adaptación de tecnologías para procesos de utilización y transformación del carbón.
  - El Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero recientemente recibido por el Fonico, le permitió a Carbocol identificar las prioridades de investigación y desarrollo aquí sugeridas y les facilitará a los encargados de estructurar el Programa de Investigaciones en Energía y Minería, la elaboración de un plan de acciones que permita organizar los mecanismos que deben utilizarse para coordinar las actividades científicas y tecnológicas en todo el país.
  - El pensamiento a nivel conceptual expresado por los cuatro expertos en el documento Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, sobre los lineamientos básicos para enmarcar la investigación y el desarrollo del sector carbonífero colombiano en el mencionado programa, está acorde con el propósito general del Fonico, cual es, el de incorporar la ciencia y la tecnología al proceso de desarrollo del citado sector.
  - El país cuenta con una infraestructura básica aceptable para investigación en carbones, la cual se verá fortalecida con la ejecución de los proyectos de investigación y desarrollo que sean aprobados por el Consejo de Investigaciones en Energía y Minería.
  - Sobre la posibilidad de crear un Centro Tecnológico del Carbón, la posición de Carbocol es la misma asumida por la firma Estudios Poveda Jaramillo Ltda. en su informe final sobre el Programa de Ciencia y Tecnología para el Sector Carbonífero, el cual es, que no están dadas las condiciones para acometer su creación.
- En su defecto, se recomienda continuar contratando con las entidades, empresas y consultores colombianos con capacidad investigadora, una

por una o en consorcio, la ejecución de los futuros proyectos de investigación y desarrollo para el sector carbonífero colombiano.

- Conscientes de que en el país se ha consolidado la capacidad científica y tecnológica requerida para asumir el desarrollo de la industria carbonífera nacional y de que los resultados que se están obteniendo permiten predecir que hacia el mediano plazo se podrán tener avances en este campo, es nuestra recomendación que en este Simposio el Consejo Nacional de Investigaciones en Energía y Minería establezca los criterios y defina el origen de los recursos financieros que deberán usarse para la financiación de los proyectos de investigación y desarrollo sugeridos por Carbocol en el presente documento.

### *Para reflexionar*

El mundo se ha transformado a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología en beneficio del hombre. La necesidad de fortalecer la capacidad para producir ciencia y tecnología es un requisito indispensable para que el país pueda enfrentarse con decisión y éxito con los retos del desarrollo económico, social y cultural en que está empeñado.

Ciencia y tecnología se encuentran en el centro mismo de las transformaciones económicas contemporáneas, pues un sistema económico es productivo en razón directa a la tecnología adoptada en los procesos.

La actual dependencia científica y tecnológica se debe transformar en una relación de interdependencia con los países tecnológicamente más avanzados, con lo cual se conseguirá el fortalecimiento del país en sus relaciones con el exterior, simultáneamente con la elevación del nivel de vida de la población.

Carbocol, como empresa comercial e industrial del Estado, es consciente de los grandes beneficios que para el país conlleva la aplicación de la ciencia y la tecnología en el sector carbonífero y para ello, como uno de los entes promotores de las actividades de investigación y desarrollo de dicho sector, viene apoyando con gran interés las gestiones que han sido plasmadas en el presente documento.

## COMENTARIOS A LOS DOCUMENTOS

### **Comentarios de Angela Inés Cadena M.**

En los cuatro documentos se intenta proponer criterios y líneas temáticas para orientar la realización de la actividad científica y la asignación de los recursos financieros del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, Pniem, en los próximos 10 años, a partir de los siguientes puntos:

- Una definición previa de los objetivos o finalidades que deben orientar la actividad científica en el país.
- Un rápido análisis del estado actual de las investigaciones en energía y minería.
- Una definición de los objetivos o finalidades que debe tener una política minero-energética.
- Una identificación de las necesidades, los problemas o cuestiones fundamentales de este sector, a nivel nacional y regional.

En relación con el primer aspecto, los cuatro expertos coinciden ampliamente en la importancia del conocimiento para la transformación de la sociedad y la estructura productiva del país y señalan como objetivos del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería: la contribución al desarrollo nacional y regional, el desarrollo adecuado y sostenido del sector energético-minero, la consolidación de la capacidad científica nacional y el establecimiento de planes de investigación a largo plazo.

En cuanto a los resultados de la actividad científica, se reconoce el avance en puntos específicos, los esfuerzos de coordinación con las empresas del sector y la disponibilidad de una mínima capacidad nacional. Sin embargo, se anota la carencia de un desarrollo armónico, de planes de largo plazo, de resultados contundentes en áreas estratégicas, de redes nacionales e internacionales, de una adecuada relación con el sector productivo y de una amplia difusión de los resultados y avances de la investigación en el país.

Respecto a los objetivos de una política energético-minera, coinciden en señalar, que ésta debe tener como finalidad la consolidación de un sistema integrativo y moderno a nivel nacional y regional, que incluya recursos, suministro, requerimientos, aspectos ambientales, relaciones tecnológicas, económicas, financieras y sociales.

Por último, identifican los problemas o cuestiones que deben ser estudiados y resueltos en el país en las áreas de energía y minería, de acuerdo con las particularidades del desarrollo del sector y con la evolución y el grado de avance en los diversos campos y procesos relacionados con el logro de los objetivos mencionados.

El ingeniero Julio Sampedro, después de una presentación de la situación del sector energético —petróleo, gas, carbón— y minero —minería metálica y no metálica—, propone cuatro líneas de trabajo: exploración y reserva, proceso y mercados, jurídico y ambiental y servicios de apoyo.

En este documento se presenta un marcado énfasis hacia los aspectos mineros. Aunque se sugiere la conveniencia de considerar dos campos de acción independientes: recursos energéticos y recursos no energéticos, en el momento de estructurar el subprograma de investigación, no se evidencia su necesidad. Al centrarse en los temas mineros, la problemática del sector energético —planeamiento integrado, gestión de demanda, uso

racional, etcétera—, que eventualmente podría justificar la distinción, no se toma en consideración.

En el documento del doctor Sampedro es indispensable precisar las tareas concernientes a la actividad científica; y que, aunque se reconoce lo exiguo del desarrollo de la minería en el país, no todas las deficiencias pueden ser suplidas desde el sistema de ciencia y tecnología.

En el documento del profesor Díaz se presenta “un sesgo hacia los aspectos de energía en general y el subsector de electricidad en particular”, como claramente señala en la introducción. En estos campos el tratamiento es exhaustivo y denota un claro conocimiento de la problemática en cuestión y de sus interrelaciones con otros sectores y ámbitos del desarrollo.

Vale la pena seguir de cerca la propuesta metodológica que hace el profesor Díaz para identificar de manera rigurosa y completa, las áreas de investigación en energía —planeamiento energético integrado, racionalización de la estructura de demanda, economía energética, educación y diseminación de la información— y en electricidad —herramientas y técnicas de planeamiento, operación y planeamiento operativo, caracterización de la demanda, infraestructura, fortalecimiento de la industria eléctrica, fortalecimiento del convenio ISA-Colciencias. Es importante el énfasis dado a la ciencia de materiales.

El profesor Mondragón presenta su propuesta de manera muy global, casi en forma de *título*, dificultándose la precisión de los aspectos relevantes para un programa de ciencia y tecnología. Importante la sugerencia de consideración de la dinámica regional, así como también la consideración de mecanismos de implementación del programa —aspectos operativos, financiación y comités nacionales de investigación.

El profesor Fernando Navas estructura interesantemente su propuesta de áreas temáticas de investigación en forma matricial: etapas o aspectos del proceso minero energético —recursos, explotación, transformaciones y transporte, demanda, consumo y efectos mediatos del consumo— y fuentes o materiales —minerales, materiales, petróleo y gas, carbón, recurso forestal, fuentes energéticas renovables, electricidad y cuencas hidrográficas—, a partir de una consideración integral de la energía, de sus finalidades, de objetivos generales de desarrollo económico (en su sentido amplio) y específicos de ciencia y tecnología y del estado de la investigación en estos campos.

Aunque el documento no es de fácil lectura, se recomienda estudiarlo con sumo cuidado, pues contiene propuestas relevantes en casi todos los aspectos de la problemática minero-energética. Es importante resaltar el tratamiento del sector de hidrocarburos, de los recursos forestales, del manejo de cuencas hidrográficas y de las fuentes renovables, a través de todas las etapas del proceso, así como también la consideración de los recursos, de la demanda de energía, del consumo de sus efectos mediatos.

Los cuatro documentos, de manera complementaria, presentan un panorama casi completo de la problemática minero-energética, excepto en lo referente al petróleo y gas, y proponen acertadas áreas de trabajo e investigación para los próximos años.

A partir de estos documentos es posible estructurar un adecuado Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, siendo necesario profundizar en algunos temas, con el fin de precisar los aspectos de competencia de la actividad científica, pero garantizando la realización de las actividades fundamentales para el logro de las metas propuestas. Se recomienda coordinar con las entidades responsables de la exploración y explotación de los recursos naturales la realización de funciones que son de su competencia y que pueden ser indispensables para la ejecución de los proyectos de investigación.

Entiendo la planificación como un proceso de organización para el desarrollo, que exige la conformación de las capacidades institucionales necesarias para actuar en forma coordinada hacia el logro de objetivos; para la estructuración del Pniem se considera indispensable que Colciencias adelante adicionalmente las siguientes tareas:

- Definir metas, estrategias y mecanismos de implementación y coordinación, con claras responsabilidades institucionales, para garantizar el logro de los objetivos propuestos.
- Dotar el programa de los mecanismos de control necesarios para evaluar su desempeño y reorientar o actualizar su plan de acción cuando los resultados o las circunstancias lo demanden.
- Establecer mecanismos de evaluación, toma de decisiones y financiación integrales —proyectos y actividades conexas—, continuados y eficientes que minimicen el tiempo de consecución de recursos, en favor del tiempo dedicado a la investigación.

### Comentarios de Alejandro Salazar Jaramillo

El documento del doctor Sampredo no toca problemas importantes como el qué hacer con las cenizas del carbón y no considera los materiales minerales subproductos de la producción industrial de los cuales se pueden obtener yesos, carbonatos, etcétera.

En cualquier programa de investigación y desarrollo en el área deben tenerse en cuenta los agregados de construcción que son minerales de gran impacto económico, social y ambiental, para los cuales existen alternativas de producción tanto con materiales naturales como el beneficio de residuos industriales.

Es importante ubicar en el país el uso de productos desarrollados a partir de minerales poco conocidos o cuya importancia ha sido subvalorada. Tal es el caso de las puzolanas, las cenizas, etcétera.

Al documento del doctor Díaz Morales le corresponden comentarios similares al anterior, aunque tiene un aspecto fundamental: reconocer la importancia de la ciencia de los materiales y los aspectos ambientales.

El documento del doctor Mondragón tiene como aspecto fundamental novedoso, el planteamiento de un centro de investigaciones en ciencia y tecnología en energía y minería el cual considero ambicioso y centralista. Creo que la idea debe explorarse eliminando este segundo aspecto.

La creación de comités de investigación en varias áreas, es una buena alternativa para desarrollar planificada y coordinadamente acciones en el sector minero y de energía, fungiendo como gestores tecnológicos que establezcan el puente entre el sector del conocimiento, el sector productivo, el sector gobierno y aun la comunidad.

El documento del doctor Navas aporta un excelente enfoque al plantear el subsistema científico y tecnológico del sector y su desarrollo. El tema de los recursos forestales como la referencia a otros aspectos aparentemente desligados del campo de la minería y la energía, son una clara muestra de que el mundo es un sistema totalmente integrado por lo cual no se pueden solicitar exclusividades de manejo para ningún sector o disciplina específica, sin caer en el riesgo de ver desarrollarse programas no integrales que aportan soluciones o medios que crean muchas veces más perjuicios que beneficios.

De la integración de equipos en los cuales participen con igualdad de derechos y deberes el sector productivo, el sector de conocimiento, el sector gobierno y la comunidad (el sector político si se quiere), depende el conseguir soluciones apropiadas.

Para lo anterior se requiere una toma de conciencia de todos los sectores comprometidos, en la cual cada uno tenga una actitud flexible hacia el conocimiento, sus aplicaciones y sus desarrollos.

### **Comentarios de Ricardo Ramírez y Carlos Sánchez**

Además de las propuestas que presenta el doctor Díaz, sería conveniente señalar la importancia de fuentes alternativas tales como los biocombustibles y la combustión directa de basuras para generación de energía. Al respecto, para efectos de definir las prioridades de investigación y desarrollo en fuentes no convencionales de energía, consideramos conveniente que Colciencias adopte las recomendaciones del estudio que adelantan la Comisión Nacional de Energía —Ministerio de Minas y Energía e Instituto de Asuntos Nucleares—, el cual debe estar terminado para agosto del presente año.

Referente a la energía nuclear, la afirmación del doctor Sampedro en relación con la adquisición de un nuevo reactor de investigación de 5 MW no es actualmente correcta. Sobre el particular, el instituto proyecta cam-

biar el combustible del reactor actual, manteniendo su potencia en 20 kw. Con esta renovación se pretende brindar mayor seguridad a la operación del reactor y a través de un programa de postgrados utilizarlo intensivamente en actividades de docencia e investigación en tecnología y aplicaciones nucleares. Posteriormente, y con base en el resultado de diversos estudios que ya se han iniciado, se considerará la posibilidad de aumentar su potencia hasta 1 MW como máximo.

Con respecto al uranio, el Instituto de Asuntos Nucleares adelanta la consolidación y sistematización de la información obtenida en las actividades de prospección realizadas a comienzos de la década del 80. Concluida esta actividad y dependiendo de las perspectivas de la alternativa nucleoelectrónica y del precio de este recurso a nivel mundial, deberá tomarse la decisión de pasar a la etapa de exploración y desarrollo del ciclo de combustible o mantener latente esta alternativa.

De otra parte, la caracterización y eventual explotación de los minerales asociados al uranio, sólo sería rentable en la medida en que el país tenga intereses económicos en la explotación de uranio conjuntamente con los minerales asociados al mismo.

La propuesta del doctor Díaz relacionada con la necesidad de apoyar actividades de planeamiento energético integrado trascienden el ámbito de las posibilidades de Colciencias, siendo su desarrollo de competencia de entidades tales como el Ministerio de Minas y Energía, la Comisión Nacional de Energía y el Departamento Nacional de Planeación.

Como el caso del sector energético, las propuestas del doctor Díaz relacionadas con la investigación y desarrollo en este subsector eléctrico también se centran en actividades de planeamiento de la expansión y operación del sistema de generación y transmisión. Las recomendaciones del doctor Mondragón, aunque muy generales, parecen más adecuadas y orientadas al sector de ciencia y tecnología.

Consideramos que más que crear un instituto avanzado de energía y minería, es recomendable disponer de centros de investigación subsectoriales con el modelo del Instituto Colombiano del Petróleo, en los subsectores eléctrico, carbón, minas y fuentes no convencionales de energía. En este último subsector el Instituto de Asuntos Nucleares, con la modificación de sus estatutos básicos en 1991, deberá convertirse en un instituto de investigaciones y aplicaciones de la energía nuclear, fuentes no convencionales y ahorro de energía.

El doctor Sampredo propone la priorización de líneas de investigación de acuerdo con la participación de los diferentes recursos del PIB, centrándose en actividades de minería sin mencionar las líneas de investigación en energía. Si bien es cierto que este criterio debe ser considerado, debe complementarse con criterios tales como el de eficiencia, tecnología adecuada, estado nacional e internacional, entre otros.

El documento está orientado hacia la oferta de alternativas energéticas, mencionando marginalmente la importancia de la investigación y desarrollo en los usos de los energéticos.

El programa debe enfatizar en líneas y prioridades concretas de investigación y desarrollo. Igualmente debe tener en cuenta el campo y uso racional de energía.

Un aspecto fundamental en un programa de investigación y desarrollo es el recurso humano. Sobre el particular no existen recomendaciones por parte de ninguno de los asesores para iniciar un programa dinámico de capacitación.

### Comentarios de Elkin Vargas Pimiento

Aunque los criterios y métodos de investigación en lo posible deberán servir para el estudio de todas las sustancias minerales al margen de clasificaciones y separaciones, la decisión de Colciencias y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de abordar un programa conjunto para energía y minería no parece ser la más conveniente para impulsar la investigación en el campo de los recursos mineros no energéticos, ya que es previsible que éste se vea relegado en atención y presupuesto frente al campo de los energéticos, tal como ha sucedido en otros países como México y Venezuela y como se ha visto a través de los años en Colombia, aun en el propio Ministerio de Minas y Energía, dada la importancia relativa de los capitales y empresas relacionadas y la mayor simplicidad temática que presenta la investigación en el sector energético.

La previsión anterior toma más fuerza, si se considera que en materia de hidrocarburos, por ejemplo, las compañías asociadas de Ecopetrol cuentan con departamentos o centros de investigación dedicados a estudiar cómo aprovechar mejor las características de sus yacimientos, o cómo mejorar sus técnicas de exploración y recuperación, que varias de ellas están a la vanguardia en áreas de investigación sobre la utilización de sus productos primarios y sus derivados, y que el propio Instituto Colombiano del Petróleo cuenta con la infraestructura y presupuestos suficientes para facilitar la labor en este campo.

El programa de investigación deberá hacer énfasis fundamentalmente en la utilización racional de los recursos minerales y enmarcarse en el Plan de Desarrollo Económico y Social del país propendiendo hacia la solución del problema principal del sector: carencia de infraestructura minera, que es un campo en el que la empresa privada generalmente no invierte.

Por infraestructura minera se entiende: la base cartográfica nacional, la exploración sistemática del potencial minero, el inventario y la actualización dinámica de recursos y reservas, la recolección, tratamiento y divulgación de la información procedente de las actividades mineras la reducción de

los impactos negativos socioambientales, la infraestructura física y la tecnificación de métodos y sistemas de trabajo en materia de exploración, beneficio y elaboración.

Ciertamente, para el país es prioritario conocer el potencial de sus recursos minerales, como base de la planificación y del desarrollo integral de la industria productora, consumidora y exportadora, pero con control riguroso de los costos, pues este solo aspecto podría absorber la totalidad del presupuesto asignado para la investigación en detrimento de los otros temas de interés.

La primera tarea para emprender en este análisis es conocer lo que está pasando a escala mundial en cuanto a mercados de materias primas de sustancias minerales y en cuanto a estrategias de productividad de los países con capacidad técnica y económica.

Con la información anterior la investigación geológica deberá priorizarse por áreas promisorias y asumirse buscando que los datos requeridos se obtengan con eficiencia socioeconómica, no sólo para evitar que estudios onerosos comprometan la explotabilidad de los eventuales yacimientos, sino también para restringir al mínimo las pérdidas necesarias ocasionadas por las acciones que resulten negativas desde el punto de vista minero.

Ello conduce a un campo de investigación paralelo sobre la selección y aplicación de los medios técnicos que faciliten la adquisición de la información geológica requerida y minimicen los costos.

Los temas de investigación y su importancia relativa dentro de un programa en minería no deberán ser producto del análisis sobre la participación de sustancias minerales al PBI, puesto que precisamente los resultados de una investigación podrían dar lugar a que se promueva la explotación o utilización de determinada sustancia y aumente, en consecuencia, su contribución a la economía del país. Así mismo, tal metodología podría ocasionar que se continúen o así mismo emprendan costosos trabajos alrededor de tipos de minerales como fertilizantes, arcillas, yesos, etcétera, la mayoría de las veces sin resultados de orden práctico.

De acuerdo con lo anterior, para fijar estrategias y prioridades para la investigación minera, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Ocurrencia del recurso en el territorio nacional.
- Existencia de una demanda creciente en el mercado internacional.
- Aprovechamiento de ventajas comparativas de la ocurrencia y de los menores costos de explotación.
- Cantidad y complejidad de los problemas que presenta su extracción, desde los puntos de vista de características geomecánicas y minerológicas.
- Potencialidad para suministrar mayor valor agregado y mayor eficiencia socioeconómica.
- Necesidades del mercado interno y de los mercados ampliados con criterios de integración que incrementan el potencial del consumo.

Otro campo de acción imprescindible para estructurar un programa de investigación que contribuya a superar las diferentes etapas conducentes a lograr una moderna y eficiente industria minera en Colombia, es la evaluación técnico-económica de los sistemas mineros que se han aplicado en el país y de los resultados obtenidos en materia de transferencia de tecnologías, no sólo en virtud de las cláusulas estipuladas en los diferentes contratos de exploración y explotación, sino especialmente de las experiencias de las compañías en la operación de sus minas y plantas. Esto permitirá la orientación de estudios de adaptación y desarrollo interno y la búsqueda de soluciones o alternativas a los problemas propios de la pequeña y mediana minería, con miras al incremento de su eficiencia y tamaño medio empresarial.

Las universidades con programas en el área de minería deberán convertirse en los organismos que evalúen las tecnologías y acumulen la información para su debida conservación, divulgación y desarrollo.

Para estructurar un plan como el que se pretende, además del fructífero debate que se le está dando a nivel nacional con la participación de expertos nacionales y asesores internacionales, se requiere consultar con las empresas mineras y las asociaciones gremiales acerca de sus intereses, responsabilidades y compromisos y crear los mecanismos para el desarrollo y consolidación de las instituciones de la investigación científica y tecnológica en las áreas de recursos minerales.

Entre los temas que pueden orientar las primeras acciones del programa de investigación en minería, vale la pena destacar algunos:

- Mejora de métodos aplicables al descubrimiento de yacimientos y de las técnicas de obtención e interpretación de datos geofísicos y geoquímicos.
- Monitoreo y estudios sobre usos apropiados para el carbón y los minerales industriales no metálicos de mayor producción en el país.
- Estudios de procesos para mejorar la calidad de las materias primas minerales utilizadas por la industria nacional.
- Estudios para tecnificar los sistemas de explotación minera que se aplican en las cuencas carboníferas del interior del país, que cubran los aspectos de perforación, arranque, cargue y transporte.
- Búsqueda de soluciones a los problemas mineros y metalúrgicos identificados en la pequeña y mediana minería de metales preciosos.
- Tratamientos neutralizantes de los efluentes líquidos que contienen sustancias químicas nocivas provenientes de los procesos de flotación de sulfuros y cianuración de metales preciosos.
- Reducción de los impactos negativos socioambientales producidos por la minería en ciertas áreas críticas, tales como: los de la minería del carbón en el sur del Cesar, los de la minería aluvial del bajo Cauca antioqueño y los de minería aurífera de filón en Antioquia y Santander. Otras zonas

neurálgicas para las cuales se hace necesario controlar el deterioro ambiental son: Jamundí, Buga y Ginebra (Valle del Cauca), Mariquita (Tolima), Marmato (Caldas), Samacá, Sogamoso y Moniquirá (Boyacá), Amagá (Antioquia), y las áreas urbanas donde se explotan canteras en todo el país.

- Estudios de recuperación de metales preciosos a partir de desechos y escorias.
- Tratamientos hidrometalúrgicos de concentrados auríferos.
- Utilización de carbón activado para la recuperación de oro y plata a partir de soluciones cianuradas.
- Procesos de tostación de minerales polimetálicos.
- Estudios de concentración de minerales de metales base y preciosos por métodos gravimétricos, evitando el uso inadecuado del mercurio.

Del programa de investigación en energía y minería deberían excluirse los temas de hidrocarburos, minerales radiactivos y electricidad para poder impulsar de manera más decidida el desarrollo del carbón y minerales energéticos, normalmente con menores posibilidades de atención en el país.

Las inversiones en investigación geológico-minera deben guardar proporción con las expectativas del beneficio obtenible mediante la explotación del recurso y corresponder a un estudio cuidadoso del riesgo asociado.

El programa deberá hacer énfasis en la solución de problemas puntuales de la minería nacional, tales como la carencia de infraestructura minera, el mejoramiento tecnológico de sistemas y procesos, la disminución del deterioro ambiental, lo que implica fundamentalmente investigación aplicada y optimación operacional.

Más que de una cuestión tecnológica, la evolución a corto plazo de la minería colombiana depende del mejoramiento de aspectos empresariales, administrativos y de infraestructura, complementándose con un mayor conocimiento de las características geológicas de los depósitos minerales.

Las estrategias y prioridades para la investigación minera en Colombia deben corresponder a criterios de eficiencia y al mejor aprovechamiento de los recursos existentes en universidades, institutos y centros de investigación.

Se requiere prontamente un marco organizacional para la transferencia de tecnologías al sector minero nacional.

### **Comentarios de Leonardo Acevedo Duarte**

Los documentos de los asesores consultados por Colciencias resaltan diferentes frentes de necesaria integración como prioridades fundamentales en esta etapa de replaneamiento del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, dentro del nuevo marco legal e institucional del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Como mecanismo de integración de los diferentes esfuerzos, se propone la creación de un centro de gestión científica y tecnológica que se convierta en el ámbito de ejecución de las investigaciones y de prestación de servicios técnicos y científicos que soliciten las empresas.

El centro debe contar con la participación de Colciencias, la universidad y empresas de producción de bienes y servicios.

En él se integrarán las áreas de investigación básica y aplicada, con la asesoría, asistencia técnica, consultoría y otros servicios tecnológicos y científicos.

### **Comentarios de Ricardo Angulo**

El programa de investigación que se diseñe debe contribuir a la elevación del nivel de vida de las comunidades relacionado con los proyectos y hacerlos partícipes del bienestar acorde con el desarrollo histórico actual.

Lo ambiental debe ser tomado en cuenta, estableciendo medidas certeras de control, dados los graves deterioros del ambiente que han venido produciéndose alrededor de los grandes proyectos.

Otro aspecto que debe ser relevado y que es planteado por la mayoría de los autores es lo relativo a la regionalización. Nuestro país es pluricultural, por lo cual hay que desarrollar el proceso de regionalización en todas las esferas de la vida social y cultural.

Estoy de acuerdo con los autores en la necesidad de crear institutos de investigación para que enfrenten la investigación aplicada. Estos deben tener carácter regional y desarrollar investigación en consonancia con los programas de desarrollo regional. Igualmente deben resolver los problemas de investigación que requiere la industria y prestar servicios a la comunidad. Su administración y financiación debe ser compartida por la industria y el Estado. Las universidades deben estar relacionadas con ellos para el desarrollo de sus planes.

En lo relativo a los planes de investigación, los específicos deben elaborarse con los especialistas y no dejando de lado los avances que se han logrado en los últimos años en los planes sectoriales elaborados por Colciencias.

En estos programas de investigación deberían priorizarse los aspectos de transformación de nuestros recursos energéticos para ir superando la estrategia restringida y sin perspectiva de exportar los recursos naturales energéticos. La experiencia histórica mundial nos está demostrando que los recursos naturales energéticos hay que transformarlos en el país. La investigación debe dirigirse en ese sentido, si queremos salir del atraso en que hemos estado a lo largo de la historia.

### **Comentarios de Jairo Cuevas**

Los cuatro documentos presentan básicamente la misma estructura y por tanto no se discriminan dentro del análisis realizado. Se incluye a continua-

ción una serie de comentarios que destacan los aspectos relevantes tratados en los documentos básicos y adicionan algunas áreas que se consideran igualmente prioritarias para fortalecer el plan de investigaciones del sector. El análisis se dirige más a los minerales no energéticos, campo de acción de Mineralco S.A.

La exploración se considera prioritaria ya que la supervivencia de cualquier organización minera (Estado, consorcio, empresa), depende básicamente de la identificación de nuevos recursos que le permitan remplazar los que se encuentran en vías de agotamiento a causa de su explotación. La organización minera debe, por tanto, reinvertir un porcentaje adecuado de sus ingresos por producción, en programas de investigación que le permitan ubicar nuevos depósitos minerales para asegurar su supervivencia. El Estado debe encargarse primordialmente de la exploración básica (cartografía geológica y evaluación preliminar), dejando al sector privado las etapas más avanzadas de delineamiento y evaluación económica (a nivel de factibilidad), donde el monto de las inversiones es mucho mayor. En casos especiales, el sector estatal puede participar en una pequeña proporción.

Dentro de la investigación básica, es prioritario involucrar el nuevo desarrollo tecnológico a partir de los sensores remotos (imágenes satelitarias de radar, etcétera). Su utilización acelera el conocimiento del ambiente geológico del país y mejora ostensiblemente la probabilidad de éxito en el hallazgo de nuevos depósitos minerales.

Se debe establecer un esquema de capacitación, asistencia y crédito minero. Estos deben dirigirse especialmente a la pequeña y mediana minería y ser en principio apoyados y hasta cierto punto subsidiados por el Estado, mientras el sector financiero se familiariza con el desarrollo minero y lo incluye dentro de sus políticas crediticias.

Los centros de investigación, instituciones del sector y universidades, deben fortalecer el análisis de las condiciones económicas, políticas y legales que enmarcan el sector minero. La simulación de contratos mineros y técnicas de negociación, el mejoramiento del régimen legal con base en el Código de Minas y la nueva Constitución y las estrategias de apertura económica e inversión extranjera, deben ser temas de forzosa investigación en entidades del sector y centros académicos. Investigaciones sobre comercialización de productos mineros, mercados, demanda y oferta, resultan básicos para establecer prioridades en el desarrollo del sector.

La investigación y el desarrollo tecnológico, en la transformación de la materia prima mineral, deben constituirse en objetivo prioritario del sector.

Aunque de carácter eminentemente pragmático, se considera básico el mejoramiento tecnológico en la sistematización y agilización de los trámites mineros. Hoy la tramitación de los títulos es tediosa, los registros respectivos no permiten el control adecuado y la falta de sistematización impide tener una idea clara de la situación de las propiedades mineras del país.

Es fundamental la integración y puesta en marcha de un organismo que planifique la política sectorial (sectores oficial y privado) y ponga en manos del Ministerio del ramo la información necesaria para la correcta toma de decisiones y de directrices al sector.

Este experimento ha dado buenos resultados en el sector energético a través de la Comisión Nacional de Energía y, por tanto, se considera válido para ponerlo en práctica dentro del sector minero.

### Comentarios de Carlos A. García B.

Estos comentarios se orientan a proponer un conjunto de temas que deberían ser analizados para su eventual incorporación en el diseño de los componentes del Programa de Investigaciones, y a señalar algunos aspectos, que en mi opinión, han sido omitidos en las propuestas de los asesores de Colciencias.

Por el estado actual de desarrollo de la mayoría de iniciativas del gobierno nacional para reformar la estructura institucional del sector energético, comenzando por el sector eléctrico, el conocimiento público de sus alcances es necesariamente limitado. Sin embargo, la modificación sustancial del estatus que en el sector energético sugiere también un cambio radical en los enfoques tradicionales hacia la investigación en temas energéticos y mineros.

Estas reformas se orientan a producir un replanteamiento del papel tradicional del Estado en la producción y distribución de todo tipo de energéticos, a producir una reorientación de su rol regulatorio y reducir su papel empresarial. Por tanto, la propia comunidad científica que se desempeña en temas energéticos, debe repensar su rol en este proceso de transformación y la interacción que debería darse con el resto de la sociedad colombiana en la búsqueda de las mejores alternativas para producir y consumir la energía, más allá de las interacciones y fricciones con las entidades estatales.

El cambio de actitud y de perfil de los programas de investigaciones se debe reflejar en una propuesta que atenúe el énfasis en las preocupaciones *futurísticas* del abastecimiento y de la demanda y combine los programas con balances e investigaciones sobre la energía y devenir urbano y económico colombiano, sobre sus interacciones con los procesos históricos y regionales recientes. Es decir, introducir elementos que vayan más allá de las preocupaciones termodinámicas que nos han caracterizado en el pasado reciente.

Se debe introducir en el sector energético un tratamiento sistemático y científico de la evolución y el desarrollo de la infraestructura energética, de los patrones de consumo, de la problemática institucional, con ópticas de especialistas en temas económicos, sociológicos e históricos, pues hasta el presente alguno de los esfuerzos más destacados en esta área han sido

efectuados por ingenieros del mismo sector energético. Dicho de otra manera, se requiere introducir un componente histórico y sociológico, que permita entender la lógica interna de nuestro proceso como país, en medio de sus conflictos y transformaciones. Como parte de ese componente deben incluirse los siguientes temas: el desarrollo urbano y la estructura de la demanda energética en los siglos XIX y XX, desarrollo regional alrededor del aprovechamiento de recursos energéticos en los siglos XIX y XX, conflictos regionales y explotación energética, cambios en patrones de consumo en la década del 50, la estructura urbana y la demanda energética en las áreas metropolitanas, ambiente urbano y energía, desarrollo energético en áreas de violencia, zonas de producción agrícola moderna y demanda energética, abastecimiento energético en áreas aisladas y en comunidades tradicionales, transporte, desarrollo urbano y energía y evolución institucional del sector energético.

A través del cambio institucional en el sector energético, deben originarse nuevas formas empresariales y competitivas que creen nuevos tipos de conflictos entre Estado, sociedad y empresas, tanto en lo relativo a precios, ambiente y aprovechamiento racional de los recursos. Esta situación debería dar pie para un componente de investigaciones sobre problemáticas regulatorias y juegos decisionales, en el cual pueda estudiarse a la luz de las particularidades colombianas, el conjunto de soluciones que puedan proponerse.

Es prioritario investigar sobre la evolución de las variables energéticas internacionales y latinoamericanas, lo cual podría expresarse en algún grupo independiente de análisis de conyuntura energética, con soporte informático. Este trabajo podría extenderse al análisis de las perspectivas de integración energética regional, vistas desde una óptica estrictamente analítica y cuantitativa, evitando las especulaciones políticas.

La definición del contenido de los componentes relativos a cada energético, en el programa de investigaciones, no debería repetir las actividades que llevan a cabo las diversas empresas energéticas, ni las actividades que realizan instituciones del gobierno nacional, como el Ministerio de Minas y Energía, la Comisión Nacional de Energía.

Colciencias podría contribuir a la integración de nuevas formas de acción de la comunidad científica energética colombiana, a través de talleres y/o seminarios estables y/o periódicos, sobre temas energéticos nacionales e internacionales, en los cuales participen investigadores, profesores universitarios, personal técnico del sector público y privado, consultores. Estos seminarios y/o talleres servirían como un punto de contacto de los diversos trabajos y preocupaciones sobre la evolución del sector energético, y permitirían crear un cuerpo de preocupaciones, que representen un punto de vista independiente respecto de otros puntos de vista tradicionales y predominantes en nuestro medio.

### **Comentarios de Antonio Mejía Umaña**

Un programa de investigación a nivel nacional en sectores como la energía y la minería es un ejercicio de optimización cuyo producto debe ser la definición de un número reducido de proyectos de investigación en los cuales el país debe tratar de concentrar sus recursos. El país debe profundizar en la tarea de definir cada vez más concretamente sus necesidades y posibilidades y tratar de ser autónomo. Es decir, las decisiones sobre el aprovechamiento de nuestros recursos energéticos y mineros deben hacerse cada vez más, sobre la base de lo que nosotros sabemos y queremos de nosotros mismos y no sobre la base de las necesidades de países industrializados y al ritmo de lo que ellos quieran que nosotros sepamos de nosotros mismos y nuestros recursos.

Para el desarrollo de los proyectos de investigación futuros debe aprovecharse y articularse la experiencia investigativa que ha adquirido el país. Se deben tener en cuenta los recursos humanos en formación e incluirse a los investigadores colombianos en el exterior y aquellos que no encontraron en el país posibilidades de desarrollo en el pasado.

Para el desarrollo de una nueva generación de proyectos de investigación debe concretarse la relación universidad-sector productivo-gobierno en términos novedosos. Igualmente, debe conjugarse la potencialidad desarrollada en el país en ciencias básicas con la necesidad de obtener también resultados a mediano y corto plazo.

### **Comentarios de Isaac Dynner**

La continuidad de los trabajos de consultoría e investigación en el área energética deja mucho que desear. La complementación, ampliación, profundización y validación permanente de los resultados, el análisis de las propuestas y la enmendadura de los errores, son fundamentales. Es imprescindible incorporar las nuevas realidades tanto nacionales como regionales. No es posible entender los estudios como obras concluidas, se requiere su revisión y actualización permanente.

Por fortuna el país ingresa en la era de los trabajos en eficiencia y ahorro. Todavía no se estructuran las bases para formular una política en esta materia, aun cuando de manera desordenada se empiezan a hacer planeamientos importantes en aspectos tales como la sustitución de gas por energía eléctrica en el sector residencial. Un plan concreto y detallado debe hacerse conocer en el futuro inmediato so pena de incurrirse en errores que puedan producir efectos negativos para la economía del país.

Los recientes hallazgos petroleros (y de gas) y con ello la posible reubicación de la nueva refinería que requiere el país, hacen necesario el planeamiento en el manejo de los hidrocarburos.

El plan de expansión eléctrica, que en los últimos años ha sufrido postergaciones por razones obvias, puede encontrar en las termoeléctricas a base de carbón o de gas algunas alternativas interesantes en razón al tiempo de ejecución de los proyectos y posiblemente a su precio de generación.

El sector energético es un sector complejo, donde en la toma de decisiones cada vez se hace más necesario incorporar objetivos que trasciendan el criterio de mínimo costo. Es claro que deben incluirse aspectos políticos, de equidad y de conservación del ambiente, prevaleciendo la racionalidad en las decisiones. En el futuro próximo el país no puede actuar solamente de manera intuitiva o con argumentos únicamente subsectoriales, ni de una manera exclusivamente regionalista o mucho menos con criterios de parcialidad política.

Es necesario que la planificación se efectúe de manera integrada, incorporando las particularidades y aspiraciones regionales, contemplando los factores de eficiencia energética y el costo global del sistema y, necesariamente, incluyendo los efectos de contaminación ambiental.

Es fundamental establecer mapas regionales energéticos. De manera paralela, es esencial crear el marco institucional bajo el cual operará el sector energético. Se requiere determinar claramente las funciones de los organismos coordinadores de política a nivel nacional (Comisión Nacional de Energía, Ministerio de Minas y Energía, Planeación Nacional) y los puntos de encuentro entre los entes regionales. Igualmente se deben hacer explícitos los mecanismos de discusión de políticas intra e intersectoriales y el papel que debe asumir cada una de las empresas del sector.

Es fundamental entender que los modelos de apoyo para la planificación no pretenden proveer proyecciones precisas, sino más bien contribuir con elementos adicionales a la formulación de políticas, estableciendo cifras indicativas de posibles metas para alcanzar.

El ENE aporta la primera generación de modelos de apoyo para la toma de decisiones en materia de planeamiento energético. De manera paralela y también con posterioridad se utilizan en el país modelos técnico-económicos tipo Medee. Recientemente se experimenta con modelos que se basan en hojas de cálculo.

El grupo de energía de la Universidad Nacional desarrolla modelos que utilizan técnicas de dinámica de sistemas y de toma de decisiones con múltiples objetivos. Tal vez el estado mundial en lo que hace referencia al modelamiento se encuentra en la segunda o quizá la tercera generación. Colombia no se encuentra atrasada en su conocimiento, pero sí en su aplicación.

Se han establecido suficientemente las ventajas y desventajas de los modelos econométricos y técnico-económicos, pero poco se hace en el país

para propiciar formulaciones que incorporen nuevos conocimientos y que ayuden a un mayor entendimiento de la problemática energética.

Los investigadores nacionales están en condiciones de hacer aportes metodológicos en materia de prospectiva para el sector. En este sentido es fundamental el apoyo a los grupos con mayor madurez.

El marco para la gestión energética debe estar dado por planes globales indicativos que se ajusten de acuerdo con los análisis subsectoriales y regionales. De esta manera se logrará una mayor coordinación y, si bien no se alcancen óptimos globales, ciertamente podrá tenderse a resolver los problemas energéticos de manera bastante satisfactoria.

En relación con la gestión energética es fundamental incorporar, además de los conocimientos en materia de eficiencia y ahorro, la realidad de la deuda del sector. Los planes macro deberán ser flexibles y necesariamente servirán de guía para el manejo de los recursos. Se requiere un sector con mayor disciplina, autoevaluándose permanentemente y con revisión periódica de sus estrategias, metas y objetivos.

Los canales de comunicación deben ampliarse. Se requiere un mayor apoyo de la comunidad energética a publicaciones y más participación y frecuencia en encuentros, seminarios, foros y talleres. La financiación para estas actividades será más abundante con el fortalecimiento de la comunidad energética.

Por el bien del sector y del país, se requiere fortalecer los mecanismos de comunicación para que los investigadores y consultores del sector puedan interactuar, y además, cada vez deberá pensarse menos en los consultores internacionales y más bien tendrán que formularse estrategias que posibiliten nuestra capacitación científico-tecnológica.

### **Comentarios de Luis Alberto Meza**

Los aspectos presentados por los asesores del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería los considero interesantes y de importancia para la elaboración del programa que requiere el sector energético-minero.

Sin embargo, considero que en las áreas de investigación en el sector minero-metalúrgico debe incluirse:

- En minerales no metálicos, además de sales, esmeraldas, petróleos; es importante el estudio de caolines, talcos, yesos, arenas de fundición, etcétera. También es conveniente buscar otras alternativas de aplicación a las calizas dependiendo de sus calidades. Dentro de este campo es importante el estudio de los materiales cerámicos y vítreos.
- En la extracción de metales preciosos a partir de aluviones se desechan grandes cantidades de arenas negras cuyos contenidos de magnetita, ilmenita, rutilo, zircón son de un valor apreciable. Deben estudiarse

alternativas al respecto. También deben iniciarse estudios apropiados de concentración gravitacional en conjunción con la separación magnética y electrostática.

- En la extracción de metales preciosos de mineral de veta es imprescindible realizar investigaciones para la recuperación de metales básicos (Cu, Zn, Pb, etcétera) y la obtención de productos comerciales cuyo valor es elevado comparado con el metal: por ejemplo, la obtención de sulfato de cobre, ampliamente utilizado como fungicida en un país agrícola como el nuestro. También el nitrato de plata es mucho más valioso que la plata metálica.
- Recuperación de minerales pesados de arena de mar en donde es muy sobresaliente el zircón, fuente importante del zirconio de amplia aplicación en reactores nucleares.

### Comentarios de Adolfo Alarcón Guzmán

El país necesita un programa de acción coordinada para realizar investigación científica en las áreas de la minería y de la energía. Los resultados de este programa deberán producir en un tiempo relativamente corto, el conocimiento acerca de características y potencialidades que permita el uso racional y eficiente de los recursos. Las entidades que por interés u obligación tienen que ver con este campo deben establecer planes que hagan uso óptimo de la metodología y los recursos para desarrollar la temática de investigación.

El Plan Nacional de Investigación en Minería y Recursos Naturales Energéticos debe generar conocimientos científicos sobre: identificación y evaluación de los recursos colombianos, caracterización rigurosa de los materiales encontrados, establecimiento de metodologías de explotación y beneficio, acordes con las características definidas y utilización de los minerales y sus productos en la obtención y transformación de materias primas.

Debe darse énfasis a los aspectos de novedad y oportunidad del conocimiento generado o trasferido; la conveniencia económica de los esquemas recomendados y propuestos al sector productivo; la conservación del ambiente y los aspectos sociales y políticos de la explotación del recurso.

Las investigaciones que se emprendan deben estar orientadas a:

- Determinar la ocurrencia en el territorio nacional.
- Evaluar la calidad y la cantidad de las reservas.
- Caracterizar mineralógica, química y físicamente los materiales encontrados.
- Encontrar los métodos económica, ecológica y técnicamente más adecuados de explotación y beneficio.

- Cuando es posible y conveniente, estudiar el uso de los materiales caracterizados como materias primas y encontrar productos elaborados a partir de ellas. Evaluar los procesos involucrados.

### Comentarios de Carlos Sánchez García

El pensamiento a nivel conceptual de los cuatro expertos sobre los lineamientos básicos para enmarcar la investigación y el desarrollo tecnológico del sector carbonífero colombiano en el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería, está de acuerdo con el propósito general del Fondo Nacional de Investigaciones del Carbón, Fonico como es el de incorporar la ciencia y la tecnología al proceso de desarrollo del sector carbonífero del país.

Desde el punto de vista de Carbocol, el apoyo a un programa como el planteado tiene razón de ser, si se tienen en cuenta criterios tales como: desarrollar investigación y desarrollo en el espectro más amplio de la cadena industrial del carbón, desde su exploración hasta su consumo; aplicar la investigación y el desarrollo a las necesidades del mercado con el consecuente aumento del consumo interno del carbón; impulsar proyectos de I&D con objetivos de desarrollo nacional y regional, incorporándolos dentro de un plan energético integrado; ampliar la capacidad de investigación y desarrollo a través del fortalecimiento e integración del trabajo de las universidades, centros e institutos de investigación y del sector productivo público y privado; formar recursos humanos para apropiarse, emplear y desarrollar técnicas y métodos de explotación, manejo y desarrollo científico y tecnológico de los carbones colombianos.

Sobre la posibilidad de crear un centro tecnológico del carbón, opinamos que no están dadas las condiciones para acometer su creación.

En su defecto, recomendamos continuar contratando con las entidades, empresas y consultores colombianos con capacidad investigativa uno por uno o en consorcios, la ejecución de los futuros proyectos de I&D para el sector carbonífero colombiano.

### Comentarios de Andrés Amell Arrieta

Las siguientes son las observaciones personales en torno a los documentos de los asesores del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería de Colciencias y algunas propuestas para la elaboración del plan.

Aspectos positivos:

- El reconocimiento que los documentos hacen de la ciencia y la tecnología como variables fundamentales para el planteamiento, manejo autónomo, mejoramiento de los niveles de competitividad internacional, mayor impacto en el desarrollo económico y social del país y reducción de impactos ambientales de los sectores de minas y de energía.

- La necesidad y obligatoriedad de que las actividades de ciencia y tecnología en minas y energía verdaderamente conduzcan a la solución de los problemas nacionales en estos sectores, la activación de los procesos de innovación tecnológica y la consolidación de una comunidad científica nacional.
- El considerar como criterios de referencia para el diseño de las políticas de investigación en el sector los siguientes: objetivos del desarrollo nacional, los objetivos de las políticas sectoriales, el peso específico de cada recurso en la economía nacional, el desarrollo tecnológico en la cadena de actividades características de cada recurso y el estado de la infraestructura científica-tecnológica asociada a él.

Aspectos que deben tener más precisión:

- El estado de las diferentes áreas de conocimientos básicos y tecnológicos relacionados con la energía y minería, identificando cuál es el grado de aprehensión que la comunidad académica nacional tiene sobre éstos, de tal forma que se puedan estructurar programas para la formación del recurso humano.
- Las áreas donde debe desarrollarse la investigación básica y aplicada y cuáles son los sectores donde deben consolidarse procesos de innovación tecnológica a corto y mediano plazo.
- Se requiere revisar las posibilidades de la desagregación tecnológica a la luz de nuevas situaciones: apertura económica y libertad de negociación de tecnologías en el mercado mundial, privatización de las empresas del Estado.
- Debe hacerse referencia a los posibles desplazamientos de los mercados internacionales de los recursos mineros no energéticos nacionales, como resultado del advenimiento de nuevos materiales, dado que es necesario aplicar los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos en desarrollo de tecnologías que restablezcan las ventajas comparativas de éstos y la diversificación de sus usos.
- Por ser el transporte intensivo en consumo energético y de fuerte impacto ambiental, se hace necesario diseñar un programa de investigaciones sobre problemas energéticos en el sector transporte.
- Debido a que el país tiene presencia en dos océanos, debe investigarse sobre los recursos energéticos provenientes de ellos.
- El programa debe tener en cuenta la asimilación y adaptación de las tecnologías, relacionados con minería y energía, resultantes del actual cambio tecnológico. Para ello se requiere un programa de investigación permanente sobre caracterización del estado y el análisis prospectivo por sector y/o recursos.
- Se requiere identificar los fundamentos científicos imprescindibles para el desarrollo tecnológico en minería y energía, como también el se-

guimiento de los nuevos paradigmas científicos que se perfilan. Es necesario entonces un programa de investigación en ciencias básicas de minería y energía y acelerar el proceso de formación de recursos humanos, inicialmente trayendo expertos internacionales para que interactúen con las comunidades científicas nacionales y a través de redes internacionales de investigación.

Para el sector energético, en relación con la investigación en sistemas térmicos, deben desarrollarse las siguientes áreas del conocimiento:

- a. Teoría de combustión y avances tecnológicos en sistemas de combustión.
- b. Dinámica de gases: de fundamental importancia para soportar desarrollos tecnológicos en transporte de gas.
- c. Termodinámica avanzada.
- d. Análisis energético. Un nuevo modelo teórico que se está utilizando para evaluar el uso racional de energía en procesos industriales y plantas de potencia. Este análisis, o análisis de segunda ley como también se conoce, introduce dos nuevos conceptos importantes para el estudio del comportamiento óptimo de un sistema energético: la energía y la eficiencia de la segunda ley.
- e. Teoría de turbomáquinas y avances tecnológicos en: turbinas de vapor, turbina de gas y motor diesel, motor otto y otros.

La importancia de este tema se sustenta no tanto en la posibilidad que tenga el país de producir innovaciones tecnológicas en el corto o mediano plazo, sino en los siguientes aspectos:

- La importancia en el comercio internacional de los combustibles fósiles como energéticos, en un momento histórico determinado, no sólo depende del desarrollo tecnológico en las actividades de exploración, explotación, transporte, almacenamiento y mejoramiento de sus propiedades físicas y químicas, sino también de las innovaciones tecnológicas en sistemas de conversión tecnológica, entiéndase turbomáquina. De particular importancia para el país son los avances sobre la utilización del carbón como combustible en turbinas de gas, sin previa gasificación, esto podría ampliar el mercado internacional del carbón.
  - Tener criterios claros para la selección, especificación y negociación de este tipo de tecnologías necesarias para el desarrollo de proyectos térmicos de generación de potencia y sistema de transporte.
  - Operación óptima del parque térmico instalado.
- f. Sistemas avanzados de energía (*Advanced energy systems*), que tienen características tales como: mayor eficiencia termodinámica (de primera y segunda ley), reducido impacto ambiental, mayor flexibilidad para su operación.

Entre otros se destacan:

- Ciclos combinados, gas-vapor, para la generación de potencia eléctrica.
- Sistemas de cogeneración para generación simultánea de potencia eléctrica y térmica; la potencia térmica es utilizada en los procesos industriales.
- Generación magnetohidrodinámica, MHD.
- Recuperación de recursos energéticos de la biomasa y desechos sólidos.
- Recursos energéticos de los océanos.
- Células de combustible.

El Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería debe consolidar una comunidad científica nacional para que su producción científica además de resolver los problemas nacionales, contribuya al desarrollo del conocimiento universal en estas áreas y con el propósito de seguir, evaluar y divulgar la dinámica del cambio científico y tecnológico mundial de estas áreas.

Los siguientes programas se sugieren para estructurar el Programa Nacional de Investigaciones en Energía:

- Programa de ciencias básicas de la energía.
- Planeamiento energético integrado.
- Caracterización del estado del arte y análisis prospectivo en energía.
- Sistema de conversión de energía.
- Programa de innovaciones tecnológicas en energía.
- Innovaciones tecnológicas para soportar el uso masivo del gas en Colombia.
- Innovaciones tecnológicas para los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- Innovaciones tecnológicas para los programas de energización rural.
- Problemas energéticos en los sistemas de transporte.
- Uso racional de la energía. El establecimiento de este programa requiere precisión conceptual que pueda plantearse en los siguientes términos:

"Por uso racional de energía se entiende evitar cualquier utilización innecesaria de los recursos energéticos, ya sea en su fase de consumo final o en su proceso de transformación desde la energía primaria a energía final, y utilizar los recursos autónomos de cada país o región, disminuyendo la dependencia del abastecimiento del exterior" (*Revista Energía*, año XIII, N.1 pp. 107-103).

El concepto da cuenta de los siguientes aspectos:

- Ahorro de energía por la utilización de equipos de mayor eficiencia, mejor mantenimiento y uso más correcto de los mismos.
- Sustitución del petróleo por otros combustibles convencionales, fundamentalmente gas y carbón, ampliando el abanico de la oferta.

- Diversificación del abastecimiento energético, introduciendo los nuevos procesos de generación y transformación, recursos autóctonos fundamentalmente renovables.

En este contexto, los siguientes proyectos deben considerarse:

- a. Análisis energéticos como herramientas teóricas para diseñar programas de ahorro energético y diseño de nuevas plantas industriales de alta eficiencia global.
- b. Las posibilidades de la cogeneración en Colombia. Teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos energéticos nacionales (carbón y gas), la reestructuración institucional del sector energético, los aspectos técnico-económicos, cuáles de los tipos de sistemas cogenerativos son más viables para Colombia y qué adaptaciones tecnológicas tendrían que desarrollarse.
  - Cogeneración con planta de vapor y turbina con extracción y condensación.
  - Cogeneración con turbina de gas y sistema de recuperación de calor con poscombustión y sin ella.
  - Cogeneración con ciclo combinado gas-vapor.
  - Minicogeneración.
- c. Sustitutos energéticos de los derivados del petróleo en los sistemas de transporte. De importancia son las investigaciones sobre la utilización del gas y la mezcla gasolina-alcohol para accionar el parque automotor colombiano.
- d. Análisis tribológico para el estudio de las pérdidas de energía por fricción en sistemas mecánicos.

#### **Comentarios de Julio Elías Pedraza R.**

Para el logro de nuevas tecnologías es fundamental la conformación de grupos de trabajos interdisciplinarios, no sólo en el campo de la ingeniería, sino en un trabajo conjunto con investigadores en ciencias básicas y otras profesiones, aprovechando los recursos humanos y físicos disponibles, manteniendo un intercambio científico y tecnológico con otros centros nacionales e internacionales, enfocados a la solución de problemas que afectan nuestra nación.

Con estos planteamientos se pretende proyectar nuestra investigación dentro de las tendencias políticas internacionales de apertura, hoy en día acogidas por nuestro gobierno.

#### **Comentarios de Alvaro Santoyo**

Las investigaciones por desarrollarse dentro del programa deben contribuir, de manera útil, a promover la eficiencia económica del país en general

y dentro del sector energético, así como al mejoramiento de la calidad de la vida de la comunidad. Todos los agentes involucrados en la cadena energética deben recibir beneficios netos de la investigación.

Para lograr el objetivo general antes propuesto se pueden imaginar acciones de investigación en los siguientes campos: uso de la energía, procesos industriales y centros de transformación energética, actividades de transporte y distribución de la energía (reducción de pérdidas), procesos productivos y alternativas de abastecimiento.

Los dos primeros campos de acción tienen un enfoque de lado de la demanda y los otros tienen el enfoque del lado de la oferta.

En el uso de la energía a nivel doméstico sin duda se necesitan esfuerzos de investigación que permitan optimar los costos de la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, la conservación de alimentos y la iluminación.

Para este fin se requieren investigaciones para:

- Mejorar la eficiencia energética de los artefactos y utensilios, ajustando sus diseños no sólo al tipo de fuente energética que utilizan sino también a las condiciones propias de cada lugar tales como presión, temperatura, contenido de oxígeno en el aire, etcétera.
- Avanzar en los diseños de calentadores de agua solares que resulten económicamente atractivos para los usuarios.
- Evaluar sistemas prácticos y económicos de abastecimiento energético para zonas rurales.

En el uso de energía para la movilización de pasajeros es necesario profundizar en las tecnologías de utilización del gas natural comprimido en vehículos automotores y en particular en la forma de evaluar sus impactos sobre el control del ambiente.

En los procesos productivos aparentemente resulta muy atractivo para la economía de la industria y del país, promover el mejor aprovechamiento de las fuentes primarias de energía mediante procesos como el de la cogeneración, para lo cual son necesarios: la difusión de las tecnologías de cogeneración, el estudio de las herramientas contractuales entre empresas públicas y cogeneradores y el conocimiento sobre los aspectos técnicos relacionados con la protección eléctrica de los sistemas de distribución en presencia de usuarios cogeneradores.

En las actividades de transporte se requieren los estudios adelantados por las empresas del sector para identificar las causas de las pérdidas de energía.

En materia de oferta se podría profundizar en temas como exploración petrolera y gasífera, caracterización de carbones en las diferentes regiones, gasificación y licuefacción de carbón, plantas térmicas de generación eléctrica con ciclos combinados, entre otros.

### Comentarios de Jorge E. López Rendón

Tanto la investigación básica como la aplicada, conducentes al desarrollo de herramientas/estrategias de exploración para que esta actividad sea más eficiente y ágil, han sido muy deficientes en Colombia. En el período inmediato deberán intensificarse tanto las investigaciones geoquímicas y geofísicas, como las investigaciones básicas sobre distritos mineros específicos.

Se requiere estimular la exploración geoquímica, y en este sentido es necesario mejorar en nuestro país las técnicas analíticas y de procesamiento de datos, modernizar las instalaciones de laboratorio (equipos) e incrementar el personal dedicado a estas labores investigativas. Estas observaciones son válidas igualmente para la investigación geofísica aplicada a depósitos minerales.

Deberán adelantarse investigaciones básicas sobre distritos mineros específicos para mejorar (y/o adquirir) el conocimiento que pueda ser aplicado en la exploración no sólo de tales distritos sino también de otras áreas desconocidas. Es necesario efectuar investigaciones de petrografía de menas, alteración hidrotermal, inclusiones fluidas y de isótopos, y de génesis de yacimientos, de una manera sistemática en todas las minas y prospectos conocidos, tanto en minas activas como abandonadas. En este aspecto Colombia carece, entre otros, del equipamiento de laboratorio necesario, por ejemplo, para efectuar investigaciones de inclusiones fluidas y de isótopos livianos y pesados.

Además de acciones enfocadas hacia el mejoramiento de las técnicas de minería actualmente utilizadas (y que incluyan el ambiente como aspecto integral de todo programa de explotación), deberá hacerse un plan de investigación dirigido hacia el procesamiento y beneficio de minerales: mejoramiento, adecuación e innovación tecnológica deben ser aspectos centrales del plan para: (1) volver comerciales (y económicos) muchos proyectos mineros todavía inactivos; (2) incrementar el grado de recuperación de metales específicos en las operaciones mineras (relativamente bajo en algunos casos, por ejemplo en el del oro), y (3) incrementar la productividad de tales operaciones por medio del desarrollo de metodologías/técnicas que permitan recuperar subproductos valiosos.

En el campo de materiales de uso industrial deben contemplarse aspectos relativos a: investigación básica para definición de los yacimientos actualmente conocidos, desde el punto de vista de su geología, origen, técnicas de procesamiento, transformación y posibles aplicaciones industriales. Resultados de estas investigaciones conducirán a sustitución de importaciones y fortalecimiento de la industria nacional.

Deben fortalecerse los centros de investigación actuales y creación de nuevos centros que cubran áreas no investigadas hasta el momento.

Los metales críticos para la economía mundial deberán ser incorporados también dentro del plan. Deberá efectuarse al menos investigación básica sobre posibles fuentes de metales como titanio, vanadio, cromo, manganeso, elementos del grupo del platino, elementos de las tierras raras, y esta investigación no deberá limitarse únicamente a la indicación de posibles sitios de ocurrencia sino que deberá llegar hasta el nivel de etapa de prefactibilidad.

Dentro del proceso de modernización de tecnologías de exploración de yacimientos minerales y de fuentes energéticas y de conocimiento y gestión del ambiente, los sensores remotos se constituyen en una herramienta ágil y versátil que ayuda a producir resultados rápidos y económicos. El fortalecimiento de centros de procesamiento de información derivada de imágenes de satélite, particularmente con aplicación en exploración minera y en manejo ambiental (por ejemplo el centro adscrito a la línea de Investigación en Geología Ambiental, de la Universidad EAFIT, Medellín), conducirá a su vez, a la generación de resultados que podrán ser aprovechados tanto por el sector empresarial como por las instituciones oficiales, en cualquier tipo de plan de utilización o de promoción y vigilancia, en recursos mineros o energéticos.

#### **Comentarios de José María Rincón**

El programa se debe dividir en dos subprogramas: energía y minería. Cada uno con objetivos generales muy bien definidos.

Se debe realizar un estudio permanente sobre la economía energética del país. Se propone desarrollar un modelo de computador que permita ayudar a la toma de decisiones sobre el uso de un determinado recurso y su alcance en el balance del país. El modelo debe optimar los programas de extracción y venta de los recursos fósiles para un período no inferior a 30 años, de tal suerte que permita calcular y programar posibles ventas al exterior manteniendo un colchón seguro de reservas. A mediano plazo el programa debe estar en capacidad de evaluar costos de conversión de una fuente de energía a otra y estimar costos de procesos de transformación tal como gasificación o licuefacción de carbón frente a las reservas de gas y crudos en el país y ofrecer alternativas económicas como la venta de un recurso energético y su remplazo por fuentes alternas.

Los recursos fósiles suministran la mayor energía que consume el país, por lo que su estudio sobre origen y procesos de formación así como la factibilidad de predecir posibles hallazgos es fundamental. Desde este punto de vista, la geoquímica es un campo donde poco se ha trabajado y necesitamos aumentar nuestros conocimientos. Igualmente se requiere responder algunos interrogantes sobre la presencia de marcadores biológicos y comunes en carbones y crudos, la migración de crudos, correlación de la edad con la madurez de los carbones y crudos.

Debemos incrementar la información sobre transformación de crudos pesados, bitúmenes y fondos del barril. La tarea es la de buscar catalizadores que permitan mayor tiempo de vida, sistemas de extracción de metales y gasificación de estos materiales.

Igualmente, debemos investigar más sobre las características del carbón para la combustión, la correlación entre combustión y por ejemplo el contenido de elementos de cenizas, o la combustión en calderas en lecho de arrastre y la medida de reactividad a nivel de laboratorio. El resultado de estos estudios nos permitirá clasificar los carbones para su utilización en termoeléctricas, estimar el tamaño o grano mínimo y el comportamiento en los hogares de las calderas.

Los estudios de combustión en lecho fluidizado tienen su interés desde el punto de vista de contaminación y utilización de carbones altos en cenizas.

La utilización de briquetas como material de combustión de uso doméstico es interesante para su utilización como fuente de energía económica donde no llega el gas natural y como complemento de la biomasa para el campo. Con el programa de masificación del gas su mercado en ciudades grandes se ve disminuido apreciablemente.

Un programa de gasificación en Colombia debe orientarse inicialmente al aprendizaje y manejo de su tecnología, y su utilización en ciudades pequeñas donde el programa de gas natural no llegue. En esa forma el país tendrá la independencia tecnológica y su capacidad de utilización cuando las reservas de gas natural se vean disminuidas.

La coquización es, después de la combustión, el proceso que más utiliza carbón. En el mundo las reservas de carbones coquizables tienden a agotarse y en Colombia escasamente llegan a un 5,5% de las reservas conocidas. Por este motivo es necesario investigar sobre mezclas, utilización de aditivos y reducción directa.

Puesto que Colombia y México son los únicos países en Latinoamérica con reservas medidas de estos carbones y la mayoría de países latinoamericanos están interesados en utilizar sus propios carbones, en mezclas con carbones importados, la investigación en este campo se puede realizar con participación de otros países utilizando los acuerdos del Grupo Andino y del Grupo de los Tres.

La carbonización a baja temperatura es otro campo de interés en busca de alquitranes de baja temperatura ricos en fenoles e hidrocarburos livianos. El sólido resultante o semicoque tiene un amplio mercado como combustible doméstico, reductor de metales no ferrosos y gasificación.

La licuefacción de carbón es vista como la tecnología que colaborará para aumentar el tiempo de vida de los crudos naturales mientras se encuentran nuevas tecnologías que compitan económicamente con los hidrocarburos líquidos, especialmente en su utilización como combustible para transporte.

A pesar de que esta tecnología es conocida desde hace algún tiempo, es necesario avanzar en los conocimientos que permitan obtener procesos a condiciones menos severas que las utilizadas en los convencionales. Este trabajo en el país debe ser hecho a escala de investigación básica hasta cuando el aspecto económico exija su escalamiento. Un campo donde no se ha dado ningún paso es en la licuefacción indirecta, por medio de la gasificación y posterior síntesis. El trabajo de aprendizaje en este campo se puede iniciar realizando mezclas teóricas de gases, a nivel de laboratorio, y posterior evaluación de catalizadores en la síntesis.

La utilización de la biomasa como energético promete ser una de las tecnologías de mayor desarrollo en el futuro. La utilización y búsqueda de cultivos de biomasa de respuesta rápida en el trópico, puede ser en el futuro una de las máximas formas de aprovechamiento de energía solar y Colombia tiene ventajas comparativas frente a otros países desarrollados.

El desarrollo de dispositivos y sistemas de almacenamiento para la utilización de energía solar debe ser un objetivo básico en este campo. En el país se han realizado algunos avances que es necesario sostener y complementar. Aquí por ejemplo, la arquitectura es importante, y en el almacenamiento de energía se podría pensar en la producción de hidrógeno como fuente no contaminante que en corto tiempo se utilizará a cambio de los hidrocarburos.

El aprovechamiento de las caídas de agua es un campo de alto desarrollo en el país, los trabajos en microcentrales e incremento de su eficiencia es algo que se debe continuar para satisfacer las necesidades de veredas y pueblos pequeños.

La energía eólica se utiliza en el país para la extracción y transporte de aguas; algo se ha hecho sobre aerogeneradores, pero es necesario localizar sitios óptimos y mejorar su eficiencia.

La utilización de las mareas como fuente de energía es vieja. En el país no se conocen trabajos. Este campo tiene especial interés en la costa pacífica.

Existen algunos trabajos en el campo de la geotermia pero no se conoce una aplicación práctica, por lo que es necesario recuperar los resultados obtenidos y evaluar su factibilidad económica.

Es necesario tener bibliotecas competentes, intercambio de información con otros investigadores del área, aprendizaje mediante cursos de actualización, asistencia a congreso, etcétera; por lo que es necesario hacer de esta actividad un capítulo especial. Esta actividad debe ser continua mientras exista el programa.

### **Comentarios de Gerardo Gordillo**

En un programa de investigación para 10 años se debe tener en cuenta la posibilidad de investigar en el tema de las fuentes alternas de energía, porque, aunque Colombia posee recursos energéticos tradicionales

considerables, a largo plazo éstos desaparecerán dejándonos en una difícil situación.

En este caso deseo hacer énfasis en el tema de la utilización de la energía solar en todas sus formas posibles, ya que ésta es una fuente inagotable de energía y desde el punto de vista técnico-económico su utilización en muchas formas es perfectamente viable.

### **Comentarios de Horacio Torres Sánchez**

Aunque el eje fundamental para formación y capacitación del recurso humano para investigación girará alrededor de los programas doctorales, no pueden debilitarse los actuales programas de postgrado que se basan en investigación.

Una política fundamentada en el fortalecimiento tanto de los programas doctorales como los de maestría, dará los cimientos para la necesaria reproducción de la comunidad académica y por ende para la ejecución de cualquier plan de acción en investigación.

Podrían entonces plantearse dos acciones para el Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería:

- Identificar los programas de postgrado que se desarrollan en el país, relacionados con energía y minería y que se basan en investigación.
- Fortalecer financieramente esos programas de postgrado.

El fortalecimiento de estos postgrados sería con base en criterios de calidad, los cuales se pueden trabajar dentro de la misma comunidad de investigadores en energía y minería, mediante una subcomisión avalada por el Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería.

Al respecto es importante no desligar la estrategia de formación del recurso humano de otros programas para financiación que adelanta actualmente el gobierno colombiano como es el caso de Colfuturo.

Así mismo es importante insistir en la política de priorizar la formación del recurso humano en energía y minería en los centros de educación superior colombianos de calidad.

Los centros de investigación, tan deseados y discutidos desde hace años por la comunidad académica colombiana sólo podrán ser viables y pertinentes cuando existan universidades igualmente fuertes en investigación. De otra manera estaríamos debilitando y desangrando la cantera de donde saldrían los investigadores que conformarían esos centros de investigación: las universidades.

Si interpretamos bien los lineamientos de la actual política en ciencia y tecnología, los centros de investigación, más que espacios físicos centralizados, serían la conjunción de intereses, voluntades y recursos alrededor de un tema de investigación específico.

Con esto no sólo estaríamos interpretando una política sino también racionalizando e integrando los escasos recursos humanos y físicos en investigación actualmente existentes, fortaleciendo así el sector productivo y a las universidades y haciendo un camino, que a pesar de ser difícil, es más conveniente, pertinente y formativo para la naciente comunidad académica colombiana.

#### **Comentarios de Fernando Navas**

Yo participo del consenso al que se había llegado durante la elaboración de los documentos de que la idea no es sugerir que en las políticas de los proyectos de investigación se elaboren planes energéticos o planes mineros, sino desarrollar las herramientas que hacen falta para perfeccionar la forma como dichos planes se pueden hacer.

En el documento no busqué realizar un plan energético sino señalar con los temas propuestos, que existen una serie de oportunidades interesantes para la investigación, teniendo en cuenta tanto las investigaciones que se están realizando en el país, como aquellas que aún no se realizan.

#### **Comentarios de Hernando Díaz**

Quisiera referirme muy brevemente acerca de algunas facetas. Sería el primero en indicar que los investigadores no deberían ponerse a ejecutar economía, pero sí creo que es importante que participen en la formulación de los modelos, en la generación de algoritmos y de modelos analíticos. Fernando Navas señaló algo sobre los modelos analíticos. Creo que los modelos que han venido utilizándose, más que analíticos, son modelos numéricos, modelos computacionales con pocos argumentos analíticos. Los participantes mencionaron también acerca de la ausencia del sector transporte en los documentos. Yo creo que tienen razón en esa inquietud. La limitación del tiempo que se tuvo para escribirlos y el temor a obtener documentos demasiado voluminosos hizo que tratáramos de presentar la mayor información posible en un espacio relativamente pequeño y el sector transporte no fue considerado con la importancia que merece.

Algunos participantes tuvieron la impresión que en los documentos o al menos en el mío, el uso racional de los recursos no se propuso como una opción importante para el país. De ninguna manera queda excluida y deben realizarse estudios sobre este importante tema.

#### **Comentarios de Julio Sampedro**

Sería un poco difícil responder a preguntas que uno no tiene bien en la cabeza y que no han sido formuladas en forma de preguntas sino tal vez de observaciones. Indudablemente que en las exposiciones existen vacíos que han sido llenados por las preocupaciones de los participantes. Las

sugerencias y las inquietudes de los presentes en relación con los trabajos que hemos presentado son aceptados y se deben tener en cuenta.

En cuanto a la minería quiero informar que en Colciencias se hizo un estudio anterior sobre ciencia y tecnología para el sector minero. El estudio fue el producto de varios meses de trabajo y en él colaboraron la oficina del programa de energía y minería de Colciencias, la industria privada, las universidades e institutos descentralizados y también el Ministerio de Minas. Se constituyó un equipo de trabajo que produjo un diagnóstico más o menos certero de lo que es la minería colombiana y que refleja la posición de las entidades mencionadas en los aspectos mineros. Quiero insistir que la minería en el país es una minería de grandes contrastes que nos impide hablar a veces objetivamente. En Colombia, se puede hablar de una gran tecnificación de la minería y se puede hacer referencia al uso de una tecnología óptima pero también se puede hablar de condiciones precarias, denigrantes que atentan contra la dignidad humana, cuando se habla de la pequeña minería o minería de subsistencia como suele llamársele. Alguien la llamó de subsistencia cuando la experiencia demuestra que no se puede vivir de ella. La minería de subsistencia exige grandes inversiones. Es casi una contradicción hablar de pequeña minería cuando son necesarias grandes inversiones para hacer minería tecnificada y bien llevada y los pequeños mineros no tienen los recursos para sacar del subdesarrollo esa infraestructura minera.

Hace poco en la región de Socotá visité algunas minas de carbón que eran de un pequeño minero. Al entrar en la mina vi exactamente los mismos problemas que tiene cualquier otra mina de cualquier otro propietario. No había diferencia entre que esa persona fuera un ingeniero de minas o fuera un pequeño empresario. Era el mismo motor de gasolina metido en una mina de carbón expidiendo todos sus gases, la misma lámpara de carburo, los mismos cables eléctricos sin pegar. Eso es falta de tecnología y de desarrollo tecnológico. Me hice la pregunta: ¿cómo es posible que se esté haciendo asistencia técnica minera si no se tiene el cuidado que las cosas pequeñas se perfeccionen? Yo creo que la cuestión no es de riqueza o de pobreza. El hecho de aislar unos cables no significa si se es pobre o se es rico. Es atraso técnico y para eso no se requieren investigaciones sino una asistencia bien hecha, técnica y eficiente. Desgraciadamente la minería en nuestro país está a 100 ó a 200 años de la minería de los países desarrollados y en nada se puede comparar a la investigación que ellos realizan. Cuando uno va a hacer investigación en algún aspecto minero se dice que eso ya está investigado en otros países. Nosotros lo que necesitamos es adaptar la tecnología de otras partes, adaptarla al medio nuestro y desarrollar técnicamente nuestras minas.

Hubo un comentario sobre si la minería se debería tratar como tema aparte. Yo creo que, filosóficamente, y lo expliqué al principio de mi

exposición, la minería es la que prima sobre todas las técnicas de explotación y de extracción ya sea de petróleo, de gas o de cualquier otro recurso. La minería es la que reina sobre todo y es la que impone las técnicas y el desarrollo tecnológico. Desgraciadamente hay un sector que es más pobre que el otro, por la naturaleza misma y por el fin específico del recurso.

### **Comentarios de Fanor Mondragón**

Estoy de acuerdo con los compañeros de mesa en las observaciones que se han hecho sobre los vacíos que existen en los documentos. Solamente quería plantear una duda con respecto a lo que aquí se plantea como investigación. Se han planteado una serie de situaciones en las diferentes áreas, sobre las cuales nos corresponde estudiar si en realidad tienen componentes investigativas para que sean tratados en las mesas de discusiones. Si estas componentes están ausentes sería una discusión débil y que no conduciría a nada puesto que aquí estamos tratando de enfocar los puntos de investigación en energía y minería.

### TEMAS DE REFLEXION DEL SIMPOSIO NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA (RELATORIAS)

#### **Contribución potencial de la investigación a la planeación y la prospectiva en energía y minería**

##### *Comisión 1*

La coyuntura actual es propicia a la reflexión sobre este tema porque el sector energético colombiano se encuentra en un momento especial dado que:

- Se ha creado y opera con plenas facultades la Comisión Nacional de Energía.
- La ley eléctrica y la ley de servicios domiciliarios se encuentran en el Congreso para su discusión y aprobación.
- Se ha comenzado a planear desde la perspectiva del sector como un todo, trascendiendo el enfoque subsectorial.
- Hay posibilidades claras de competencia entre energéticos.
- Son viables los intercambios energéticos internacionales.
- Existe una política de apertura económica en el país que se proyecta en el desarrollo futuro del sector en aspectos como la privatización, nuevas políticas de financiamiento, tendencia hacia la planificación indicativa y no obligatoria, nuevos criterios para el diseño de los sistemas tarifarios y un gran énfasis en la eficiencia administrativa.

Aunque en el pasado se han dado intentos de planificación en el país, éstos han sido esporádicos más que sistemáticos.

Una de las grandes deficiencias de la planeación sectorial ha sido el que se tomen variables de otros sectores como dadas, como parámetros fijos. La planeación energética y minera debe concebirse como la integración articulada de diversas instituciones y ejercicios en varios niveles, con el fin de permitir la confrontación de proyecciones alternativas que se derivan de los distintos modelos. Es igualmente importante darles base formal a los procesos de planeación donde intervienen distintas instancias y modelos. La evolución de la organización institucional del país hacia la descentralización, la posibilidad de que se creen empresas privadas de generación y en general de prestación de servicios de energía y la inminente interconexión internacional, reafirman esta necesidad.

Frente a la propuesta de hacer planeación en esta forma tradicional, así sea descentralizada, se considera conveniente hacerla por proyectos. Aunque la alternativa es clara en el caso de la planeación minera, no lo es así en el de la planeación energética, caso en el cual sería necesario desarrollar procedimientos para la toma de decisiones frente a los proyectos.

Sin embargo, aun así, a esta propuesta se le podría objetar que la evaluación de los proyectos depende de parámetros que tienen relación con circunstancias y estrategias de largo plazo. Se presenta igualmente una disyuntiva entre los modelos cada vez más detallados y los no muy detallados, o entre los de carácter topológico y los de soluciones no puntuales, sino generales y cualitativas.

La perspectiva sobre los mercados, y en general sobre las coyunturas comerciales que podrían presentarse en el futuro, es un ejercicio indispensable para el desarrollo del sector; el país debe estar en capacidad de anticipar los posibles entramamientos que afecten a los productos energéticos y mineros exportables y, en este sentido, los investigadores pueden prestar un valioso soporte técnico para las negociaciones comerciales que muchas veces se centran en las características técnicas del producto exportable. La red diplomática del país y la red colombiana de investigadores en el exterior pueden apoyar la actividad prospectiva en ciencia y tecnología, así como cumplir un valioso papel en la evaluación de las coyunturas comerciales de productos mineros exportables. De otra parte, la prospectiva tecnológica en nuevos materiales puede orientar las actividades mineras hacia la detección de oportunidades de desarrollo.

La tendencia colombiana ha sido desarrollar modelos propios de planeamiento energético. ¿Vale la pena seguir esta tradición o, por el contrario, sería conveniente acoger modelos desarrollados en otros países, debidamente adaptados?

La planeación, más que como una técnica o un modelo, debe concebirse como una cultura. Se la puede incorporar a todas las instancias donde se tomen las decisiones y en esto las universidades deben cumplir una función de formación.

Es necesario que el sector desarrolle herramientas de planificación de acuerdo con sus nuevas necesidades y se apropie de los desarrollos tecnológicos más recientes. Pero no tiene sentido que se implanten en el país técnicas muy refinadas de evaluación de recursos si éstas van a encontrarse con un sistema de planificación pobre.

A manera de ilustración, algunos de los temas prioritarios que podrían investigarse en el área de planeamiento son:

1. Herramientas para la toma de decisiones.
2. Planeamiento descentralizado.
3. El sector energético y los recursos naturales: manejo de cuencas, riesgos naturales, impacto ambiental y clima.
4. Análisis y consideración de la incertidumbre y de dinámicas de trayectoria imprevisible.
5. Gestión de la demanda.
6. Cálculo de indicadores.
7. Análisis de flexibilidad.
8. Modelamiento en temas como: sustitución entre energéticos, expansión, operación, evaluación, etcétera.
9. Impactos regionales.
10. Aplicación de análisis multiobjetivo, dinámica de sistemas y sistemas dinámicos no lineales, teoría de caos, etcétera.

¿Cómo estructurar la investigación en planeación? La tarea de la universidad no es planificar sino investigar sobre el desarrollo de los instrumentos de planificación. Entonces, se pregunta la comisión, ¿hasta qué punto los grupos insertos en los departamentos de las universidades son los de mayor dinámica para la investigación? La conformación de institutos en los extramuros institucionales de las universidades puede ser una alternativa viable. Las universidades podrían crear corporaciones mixtas o asociaciones temporales para hacer investigación aplicada, desarrollo y asistencia técnica. Por su parte, los grupos de investigación podrían pensar en conformar portafolios de fuentes de financiación.

### **Criterios para escoger temas de investigación y desarrollo en energía y minería**

#### *Comisión 2*

Con el objeto de ilustrar a los participantes sobre los grandes lineamientos de la Ley de Ciencia y Tecnología en cuanto a los criterios para escoger temas de investigación y desarrollo en el área, vale la pena anotar lo siguiente:

- En octubre de 1991 comenzaron a funcionar los consejos para cada uno de los 11 programas.

Cada consejo depende del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y está conformado por miembros del Estado, investigadores miembros del sector privado.

Es el Consejo el organismo que aprueba los proyectos, construye las políticas de investigación y establece los criterios y directrices.

- Colciencias preparó un documento sobre criterios para aprobar proyectos de investigación, que se está estudiando en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. En él se establecen criterios generales para los 11 programas.

Como principio general el sujeto de la investigación es el Grupo de Investigación, ojalá interdisciplinario, con individuos que compartan la investigación y también la gestión. No debe confundirse con el individuo aislado, ni con la institución, que puede albergar a más de un grupo.

- La calidad es una exigencia total. El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología no aprobará sino proyectos de buena calidad. Sin embargo, es un término amplio que para su aplicación se ha desglosado así:
  - Calidad temática.
  - Calidad de las personas que integran el grupo de investigación.
  - Calidad de los medios que se emplearán para desarrollar la investigación.
  - Calidad de los medios de comunicación que se emplearán para dar a conocer los resultados a la comunidad científica y para llegar a los usuarios terminales.

En todos los casos la calidad será juzgada por pares y por el Consejo, encargado de verificar la calidad de la evaluación que han hecho los pares.

- Los dineros públicos no se usarán para subsidiar propuestas que no le interesen a la sociedad colombiana. El proyecto debe demostrar ese interés.

El grupo debe generar una estrategia que demuestre su pertinencia y hacer que su plan entre en diálogo con los planes del Consejo. El diálogo entre los dos aclarará en qué medida se corresponden o no esos planes. Dentro de este intercambio de ideas se prefiere utilizar conceptos de planeación estratégica (oportunidades, fortalezas, debilidades y amenazas).

- La responsabilidad de la decisión final sobre todo proyecto presentado al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología está en manos del Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería.

Los fondos que se tienen para el programa no son fijos, aunque sí sean escasos. Existen los fondos del préstamo BID, que forman una bolsa global que no se ha repartido entre los 11 programas. Es función del Consejo del Programa y de Colciencias conseguir más recursos del sector productivo, de las agencias internacionales, de otras entidades del Estado y utilizar las posibilidades que abre la Ley 29 de 1990.

Establecido el entorno de la discusión, se sugirió organizar en tres niveles la definición de criterios.

- Un primer nivel de investigación que corresponde a aquellos proyectos que son responsabilidad directa de la industria. El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología puede sugerir temas de investigación y motivar a la industria sobre la rentabilidad y utilidad de la investigación.
- El segundo se refiere a aquella investigación que debe hacer la universidad o los grupos de investigación con alguna trayectoria. Debe ser investigación vendible a clientes como la industria o el Estado. La iniciativa de las propuestas puede estar a cargo de los grupos, pero también las entidades encargadas de fomentar la investigación deben detectar temas de interés y sugerirlos a los grupos.
- El tercer nivel está formado por aquellos proyectos necesarios para la sociedad colombiana, identificados como proyectos que enfocan globalmente el problema de energía y minería, y su financiación es prioritaria.

Entre los puntos que surgieron en desarrollo al tema de la investigación, vale la pena destacar los siguientes:

- La investigación debe conectarse con el sector productivo y buscar la interacción entre universidades, centros e institutos de investigación.
- Los grupos de investigación maduros ofrecen garantías de calidad. Las propuestas de los grupos nuevos se apoyarán cuando sus participantes demuestren formación en el área y el grupo proponga una estrategia de relacionarse e interactuar con grupos fuertes en Colombia o en el exterior, que tengan mayor trayectoria en el campo. Al mismo tiempo, esto genera un reto para los grupos maduros, los cuales deben buscar la forma de apoyar y propiciar el desarrollo de grupos nuevos de investigación en las entidades de menor trayectoria.
- Debemos aumentar el conocimiento de nuestro entorno y revertir en las regiones el beneficio de nuestra investigación. Se ve con interés que los grupos de investigación propongan temas que respondan a necesidades regionales.
- En muchos casos la viabilidad de las soluciones tecnológicas requiere investigaciones sociales que las apoyen. Se debe considerar en lo posible el impacto social de los proyectos.
- Se considera irrelevante ahondar en la discusión entre investigación básica e investigación aplicada. La investigación debe definirse con base en problemas, en cuya resolución se puede cubrir desde aspectos muy básicos hasta aspectos muy aplicados. Debe evitarse el caer en la adjudicación de porcentajes a cada tipo de investigación.

- Debe superarse la diferenciación entre docencia e investigación en las universidades. Hay que abandonar la concepción de la docencia como repetición de textos. La investigación enriquece a la docencia y viceversa, pues allí se plantean muchas preguntas.
- Es indispensable el diálogo con el sector empresarial para definir los criterios y para estimularlo a invertir en I&D.
- Es importante pensar en proyectos transversales, que involucren, además de los temas de la energía y la minería, a las ciencias sociales, a las ciencias del ambiente, etcétera. En ese caso, los consejos han comenzado a entrar en interacción sin definir fronteras tajantes entre sus ámbitos de acción.

Teniendo en cuenta que cualquier criterio que se establezca debe ser tal que oriente la asignación de recursos, pero que no excluya o detenga el proceso investigativo y por otra parte, que deben aplicarse con flexibilidad, se establecieron los siguientes criterios:

1. La generación de conocimiento debe ser el criterio fundamental para considerar proyectos de investigación.
2. Se debe aplicar como criterio general el que los proyectos solucionen problemas de corto, mediano o largo plazo.
3. La investigación debe estar enmarcada dentro de las prioridades que ha definido el país a través del plan nacional de desarrollo y de los planes y diagnósticos sectoriales.
4. Las investigaciones deben evaluar su impacto social y, en lo posible, estar encaminadas a elevar las condiciones sociales, económicas y sanitarias de las regiones.
5. Cuando sea pertinente, la variable ambiental debe involucrarse en los proyectos, pero no en el sentido negativo de frenar el desarrollo de la energía y la minería, sino en el positivo de investigar sobre las formas en que la naturaleza logra recuperarse rápidamente del impacto ambiental.
6. Las propuestas de investigación deberán, en lo posible, adaptarse tecnológicamente a las condiciones locales y, por tanto, conducir al mejor conocimiento de las características de nuestro país.
7. Será un factor muy importante en toda investigación el que ésta involucre al sector productivo; así sea en las investigaciones cuya aplicabilidad se prevea a muy largo plazo.

Dados los anteriores criterios, la Comisión recomienda:

1. Solicitar al Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería desarrollar acciones que propicien en el sector productivo el interés por la investigación. Por ejemplo, organizar eventos, contactos y pasantías en los cuales se convoque a industriales e investigadores para

que se presenten las necesidades de los unos y las posibilidades de solución que ofrecen los otros.

2. El Consejo y el Simposio deberían sugerir al Icfes y al Ministerio de Educación tomar las medidas apropiadas para que la investigación tenga una presencia real en las universidades.

## Energía, minería y ambiente

### Comisión 3

La Comisión abordó el estudio de temas de investigación y desarrollo tecnológico tanto para la producción de energía y suministro de minerales, como para los efectos ambientales que tienen las actividades de energía y minería. Como fuentes de energía se consideraron el carbón, el petróleo, el gas y la energía hidráulica. Las fuentes de energía no convencionales no se consideraron explícitamente. En el campo minero se hizo una división entre el carbón y otros recursos minerales con énfasis en los metales preciosos. Para considerar los diferentes temas de investigación, se realizó un análisis de la secuencia de los procesos que se llevan a cabo para la generación de energía y el suministro de minerales. Se preparó una matriz con las fuentes de energía y los sectores mineros propuestos, los diferentes procesos y los problemas de orden técnico y ambiental que surgen de las diferentes etapas.

El grupo enfatizó en los problemas ambientales que se originan en la producción minera y el uso o transformación de la energía.

Se discutió que el concepto del ambiente no es solamente el conjunto de los seres vivos y su entorno, que deben ser protegidos de la acción humana, sino que también se refiere al sistema que genera amenazas y por ende riesgos naturales que pueden afectar a la sociedad y sus obras.

Se discutió la necesidad de adelantar acciones que no son propiamente de I&D pero que sí resultan indispensables para ellas, tales como normalización, caracterización de recursos y sistemas de información georreferenciados, entre otros.

También se plantearon temas de investigación en producción industrial, medicina laboral, seguridad industrial y epidemiología, relacionados con la perspectiva ambiental.

Se resaltó la situación especial del carbón de acuerdo con la cual este recurso debe ajustarse a condiciones generales de mercado, en tanto que los otros energéticos se rigen en su desarrollo por sistemas tarifarios con subsidios y bajo la acción de una fuerte intervención del mercado por parte del Estado.

Para la selección de líneas y temas de investigación se formularon los siguientes criterios:

- Posibilidad de pertenencia a un Plan Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Contenido científico y tecnológico.
- Proyección social, económica, cultural y ambiental.
- Carácter horizontal y multidisciplinario.
- Existencia de una infraestructura y de una masa crítica de investigadores.

De acuerdo con el análisis realizado a la secuencia de procesos para la generación de energía y el suministro de minerales, y la problemática científica, técnica y ambiental, se proponen los siguientes temas y áreas de investigación:

#### *Exploración y explotación*

- Utilización de sensores remotos en el medio tropical húmedo.
- Caracterización de recursos energéticos y minerales.
- Impacto de plantas hidroeléctricas, presas y embalses.
- Diseño de métodos de explotación.
- Salud ocupacional y seguridad industrial.
- Sismicidad.

#### *Beneficio y uso*

- Desulfurización, desnitrificación y desmetalización de combustibles fósiles y minerales.
- Biotecnología aplicada al beneficio de recursos fósiles y minerales
- Preparación y utilización de carbones activados.
- Investigación básica para la caracterización y estudio de las propiedades termodinámicas y cinéticas y de nuevos materiales.
- Ingeniería de procesos y diseño de equipos para el medio tropical.
- Lavabilidad de carbones y recuperación de finos.
- Tecnologías de combustión limpia.
- Eficiencia energética y uso racional de energía.
- Tensoactivos y demás fenómenos de superficie.

#### *Trasporte*

- Mezclas densas de sólidos en suspensión, *slurries*.
- Mezclas gaseosas y/o aireadas.
- Autocombustión.
- Dispersión de finos.

#### *Residuos y recuperación*

- Manejo, tratamiento y utilización de residuos; manejo de estériles y disposición de colas, *fly-ash*, cenizas y gases de combustión.
- Recuperación de áreas explotadas de recursos energéticos y mineros, suelos y vegetación, aguas residuales y otros.

## Formación de la comunidad científica y tecnológica

### Comisión 4

Con el fin de identificar los criterios y mecanismos para la formación de una verdadera comunidad científica en el ámbito energético y minero, la comisión partió de tres niveles de discusión:

1. Conformación de redes de investigación cuyos criterios no sean la sectorialidad ni las áreas temáticas.
2. Internacionalización de la comunidad científica.
3. Formación de recursos humanos.

El debate se inició con la conceptualización sobre la red como un espacio de discusión, conjunción de intereses, voluntades, tareas, en torno a un ámbito de inquietudes.

Al respecto se concluyó que es necesario plantear dos categorías o niveles de redes: la primera, que se denominó estratégica, debe convocarse en torno a intereses comunes que trasciendan lo interdisciplinario y que, por tanto, permitan abordar una temática de interés más universal, tal como la planeación, el uso racional de la energía, el ambiente y la transferencia de tecnología.

La segunda categoría se convoca en torno a problemas de interés común para un conjunto de temas mucho más concretos y agrupa campos de investigación específica.

En torno a este tema se concluyó que Colciencias promueve la conformación del primer nivel de red. Sin embargo, algunos investigadores presentes insistieron en la necesidad de configurar también la segunda y fortalecer las existentes.

Sobre la formación de recursos humanos se aclaró la propuesta de Colciencias de apoyar los programas conducentes a la formación de investigadores a nivel de doctorado. Sin embargo, algunos participantes en la mesa recalcaron la necesidad de mantener también los niveles de maestría que se basen en investigación. De acuerdo con esto, el criterio fundamental de apoyo a la investigación debe ser la calidad y la pertinencia y no el nivel académico en el que se ejecute.

En cuanto a la internacionalización de la comunidad científica colombiana, se decidió aunar esfuerzos para apoyar la publicación de resultados de investigación en revistas de reconocida circulación internacional, la participación en eventos científicos y programas de doctorado en el exterior.

La Comisión llegó a las siguientes conclusiones:

1. Apoyar la creación de redes de investigación en los siguientes campos para el sector energético y minero:
  - a. Planeación energética y minera.
  - b. Transferencia de tecnología.

- c. Ambiente.
  - d. Uso racional de energía.
2. Apoyar redes que por temas específicos aglutinan investigadores. Algunas de éstas ya están funcionando o se consolidarán por iniciativa propia o por necesidad de los grupos de investigación.
  3. La tarea de formar investigadores de nivel de doctorado es urgente. Los doctorados son consecuencia de la actividad investigativa. Las áreas de los mismos serán el producto de la actividad de investigación y no particularidad del sector energético y minero.
  4. El programa debe garantizar el financiamiento de un mayor número de reuniones de este tipo, para afinar estos planteamientos.
  5. El programa debe garantizar la internacionalización de los resultados de investigación a través de publicaciones, pasantías, becas a nivel de estudios posdoctorales y traída de expertos al país.

#### CONCLUSIONES GENERALES DEL SIMPOSIO DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERA

El primer Simposio de Investigaciones en Energía y Minería se reunió con el propósito de consultar a un grupo de 60 investigadores y gestores de investigación acerca de los documentos desarrollados durante el seminario preparatorio, las ponencias y los comentarios escritos que fueron recibidos, con miras a apoyar el desarrollo del sector con los aportes del conocimiento.

Durante el Simposio se reunieron cuatro comisiones que estudiaron los siguientes temas:

1. Contribución potencial de la investigación a la planeación y la prospectiva en energía y minería.
2. Criterios para escoger temas de investigación y desarrollo en energía y minería.
3. Energía, minería y ambiente.
4. Formación de una comunidad de investigadores en energía y minería.

Las discusiones se enriquecieron con la participación de investigadores de España, México y Venezuela y, a través de ellas, se extrajeron valiosas lecciones para el naciente Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Las siguientes conclusiones generales complementan las relatorías de las distintas comisiones:

- El Simposio constituye un paso fundamental en la definición de un Plan de Investigaciones en Energía y Minería, el cual debe tener carácter de gran convocatoria a los investigadores, a la juventud, al sector privado, a las grandes empresas estatales y al Estado para desarrollar el Progra-

ma Nacional de Energía y Minería. Los antecedentes de este evento están en el planteamiento de una estrategia general para el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y en el inicio de las funciones del Consejo del programa. Los documentos que hasta el momento han sido preparados serán publicados y se señala la conveniencia de precisar metas y hacer un seguimiento periódico de los avances del programa.

- Se requiere integrar a los institutos estatales de investigación al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología en forma más directa. Los artículos 4o. y 7o. de la Ley 29 de 1990 constituyen un mecanismo a través del cual se facilita esta actividad. La problemática financiera del sector de la energía en Colombia causa dificultades muy grandes a las actividades de investigación en este programa, cuando se las requiere con mayor urgencia.
- Aunque la dinámica misma de la actividad científica y tecnológica, las posibilidades de cooperación en temas de interés trasversal, la fertilización cruzada de las ideas, convocan al establecimiento de redes de investigadores en los distintos subsectores. Se observa la disgregación de los esfuerzos de investigación del sector en correlación con la subsectorialización en grandes empresas estatales. A raíz del Simposio se inició una interacción de valor en este sentido.
- El trabajo investigativo debe ser interdisciplinario. Los entes productivos, la universidad y los institutos de investigación trabajarán conjuntamente para la resolución de los problemas. La universidad debe realizar fundamentalmente investigación básica y en menor escala la que se refiere a plantas piloto.
- Colciencias a través del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería debe fortalecer los vínculos con el sector industrial mediante convenios de cooperación que permitan la trasferencia del conocimiento al sector productivo.
- Se debe procurar la aplicación, por parte del sector productivo, de los resultados y logros de las investigaciones.
- Es deseable que el país se prepare para una transición hacia una etapa caracterizada por un uso moderno, eficiente y ecológico de los recursos naturales, etapa en la cual es fundamental el recurso conocimiento y son necesarias las investigaciones básicas y aplicadas.

Además de las anteriores conclusiones generales, cada una de las cuatro comisiones recomendó:

- Para utilizar adecuadamente los recursos es necesario una planificación integrada que emplee modelos diferentes a los que hasta ahora se han utilizado. La incorporación de teorías avanzadas, como el caos y catástrofe por ejemplo, debe convertirse en elemento clave para potenciar las herramientas planificadoras, especialmente de los recursos energéticos.

- Los investigadores deben contribuir a *oxigenar* las herramientas de planeación. Se requiere la introducción de nuevas metodologías que sustituyan a las actuales que, como en el caso de la energía eléctrica, parecen ser demasiado rígidas. El Simposio llamó la atención sobre la ausencia de una *línea de investigación en planeación*. La elaboración del Plan Nacional de Energía, actualmente en proceso, puede ser la coyuntura propicia para desarrollarla.
- Es necesario desarrollar mecanismos que permitan a los investigadores y entidades públicas y privadas interesadas en la energía y la minería, conocer el estado a nivel nacional e internacional de estos temas y sobre prospectiva energético-minera.
- El sector energético-minero constituye un área de particular importancia para el país, dada su contribución al sistema macroeconómico y los niveles de inversión requeridos. La investigación en esta área es imprescindible tanto para contribuir al desarrollo del sector, como para proporcionar metodologías y herramientas que permitan tomar decisiones en forma racional.
- Se requiere desarrollar investigaciones integrativas empezando por el área de conceptos y métodos para planeación y prospectiva energética y minera. El Consejo Nacional debe estimular entre los investigadores la formulación o modificación de dichos proyectos.
- Se deben conformar grupos abiertos, en general alrededor de las universidades, que integren industria y universidad e interaccionen con entidades como el Ministerio de Minas y Energía y la Comisión Nacional de Energía.
- Se debe profundizar la investigación sobre energía eléctrica especialmente en grupos al borde de las universidades, en particular para el nuevo planeamiento.

#### **Cráterios para seleccionar temas de investigación y desarrollo en energía y minería**

- En los ejercicios de identificación de líneas de acción de investigación y desarrollo y de los criterios de selección de proyectos, se puso en evidencia la necesidad de armonizar su pertinencia, el desarrollo del conocimiento y la aplicabilidad de los resultados.
- Para la elaboración de un programa de investigaciones se deben tener en cuenta entre otros, los siguientes criterios:
  - Pertenencia a un plan científico y tecnológico del país.
  - Elevado contenido científico y tecnológico (calidad y pertinencia).
  - Carácter horizontal y multidisciplinario y existencia de una infraestructura y una masa crítica de investigadores.

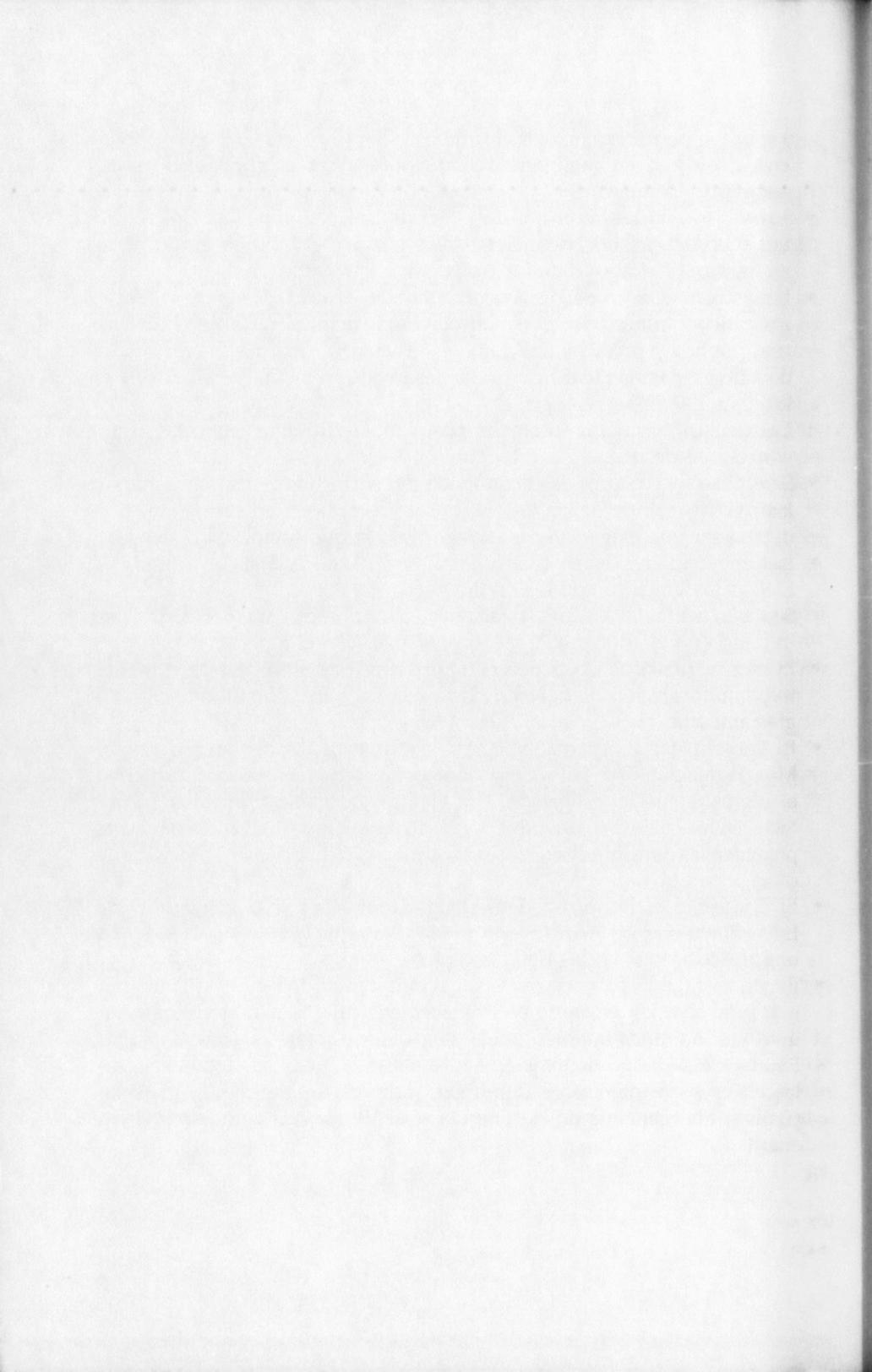
- La investigación básica es un elemento fundamental para la investigación aplicada. Por esta razón el Sistema de Ciencia y Tecnología debe apoyar este tipo de investigaciones fundamentales y consolidar grupos interdisciplinarios que abarquen investigadores de experiencia en ambos campos.
- Los recursos para la investigación deben aprovecharse eficientemente para garantizar la obtención de resultados de impacto. El Consejo del programa debe dar lineamientos para la investigación y hacer convocatorias abiertas a los grupos del país.
- La investigación en el sector de energía y minería debe llevarse a cabo en todos los niveles, desde la ciencia básica hasta la aplicación tecnológica e incluso la divulgación entre el público. El objetivo fundamental debe ser la búsqueda de nuevos conocimientos, pero también es importante la popularización de la tecnología, con el fin de avanzar hacia una sociedad basada en ella.
- La investigación en ciencia de materiales necesita una alta prioridad con el fin de crear la infraestructura necesaria para adelantar los proyectos.
- Prioritariamente se deben apoyar los proyectos de investigación tendientes a solucionar problemas básicos del país, a generar conocimientos adaptados a nuestras condiciones locales y nacionales y se debe otorgar importancia a los impactos sociales, ambientales (en sentido positivo) y de salud, de dichos proyectos. También sería conveniente involucrar al sector productivo.
- Finalmente, la Comisión concluyó que se debe continuar apoyando la investigación científica en forma descentralizada, aunque con sugerencias claras contra aspectos de excesiva dispersión. Se discutió y se concluyó que la investigación debe cubrir en forma mucho más precisa los aspectos de recursos, explotación, transformación, transporte, consumo y sus efectos, etcétera.
- En el sector de la minería hay contrastes muy grandes. La pequeña y mediana minería deben emprender prontamente una estrategia muy intensa de transferencia de tecnología encaminada a solucionar problemas tecnológicos, sociales y ambientales.
- El uso eficiente de los recursos naturales, y la conservación del ambiente deben tenerse en consideración para orientar la investigación científica y tecnológica del sector.
- La investigación acerca de la interacción con el ambiente y del uso más eficiente de los recursos debe formar parte de los planes para el desarrollo del sector energético minero.
- Se debe intensificar la investigación sobre los usos modernos y limpios del recurso carbón, técnicas avanzadas de beneficio de minerales y

materiales modernos, prospectiva tecnológica relativa a las fuentes renovables, gestión de la demanda, ingeniería minera, entre otros.

- Se deben impulsar los programas de doctorado a través de investigaciones de alta calidad y pertinencia, tratando de fortalecer una base científica nacional capaz de contribuir a la solución de problemas reales de la industria.
- Es indispensable capacitar a los investigadores en áreas relativas al desarrollo de los sistemas de conversión, mecánica de fluidos, fenómenos de transporte, con miras a elevar la capacidad de negociación y el desarrollo en el campo de nuevas tecnologías.
- Se debatió la conveniencia de crear nuevos institutos de investigación a nivel nacional como el Instituto para la Investigación del Carbón. Sin embargo, aunque se reconoce la abundancia del recurso, su importancia en la generación de divisas y el cumplimiento de las exigencias de calidad en los mercados internacionales, esta decisión se debe confrontar con el número de grupos de investigación existentes en las diversas universidades y en otros centros del país y realizar un estudio que determine su viabilidad.
- Es prioritario formar y vigorizar las redes de investigación, así como apoyar los doctorados y los magísteres. Se deben realizar esfuerzos específicos para la publicación de los resultados de las investigaciones en el exterior, con el fin de internacionalizar la ciencia colombiana y permitir a los investigadores nacionales ponerse en contacto con los grupos internacionales del mismo quehacer científico.
- Se debe propender a la formación de una comunidad científica y tecnológica. Para ello es conveniente apoyar dos tipos de redes, dentro de un marco conceptual integrado:
  - a. *Redes trasversales* en torno a:
    - Planeación.
    - Trasferencia de tecnología.
    - Ambiente.
    - Uso racional de la energía.
  - b. *Redes temáticas* en torno a problemas o temas de interés de los grupos de investigación.
- Como acción complementaria a la formación de las redes se propone la creación de Oficinas de Trasferencia de Tecnología, OTT, o empresas de organización mixta con la función de integrar grupos de investigación alrededor de problemas de investigación más amplios. Estas oficinas, además de integrar, fortalecen económicamente los grupos existentes cuando se solicita apoyo financiero a entidades internacionales (v. gr. Comunidad Económica Europea).
- Se debe dotar al Programa de Investigaciones en Energía y Minería de mecanismos de control y seguimiento de los objetivos, metas y estra-

tegrías que permitan corregir el rumbo de los proyectos de investigación en la medida en que cambien las condiciones y las posibilidades del sector energético y minero.

- Una vez evaluados los costos del programa, se recomienda a Colciencias una adecuada gestión financiera que garantice el flujo continuo de los recursos para el apoyo de los proyectos de investigación.
- Los próximos eventos de concertación de prioridades para el sector energético y minero deben contar con la participación del sector industrial, público y privado, dado que es el usuario final de los resultados de la investigación científica que se desarrolla en las universidades y en los centros de investigación.
- Las conclusiones del presente Simposio deben divulgarse entre el sector empresarial de la energía y la minería.
- Se requiere el compromiso económico del sector industrial para apoyar las investigaciones, sobre todo aquellas de aplicación inmediata. Esta debería ser una exigencia para los proyectos que financia Colciencias.
- Las universidades deben crear una oficina de transferencia encargada de realizar los vínculos con los sectores industriales.
- Se deben estimular las investigaciones sobre el sector transporte, dada su influencia en el ahorro energético nacional y en el ambiente.
- El informe final que Colciencias realice sobre este Simposio debe incluir toda la información de la red de laboratorios e investigadores en energía y minería.
- El Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería debe desarrollar acciones que propicien en el sector productivo el interés por la investigación. Por ejemplo, organizar eventos y contactos en los cuales se convoque a industriales e investigadores para que presenten las necesidades de los unos y las posibilidades de solución que ofrecen los otros.
- El Consejo y el Simposio deben sugerir al Icfes y al Ministerio de Educación tomar las medidas apropiadas para que la investigación tenga una presencia real en las universidades.
- Es recomendable propiciar investigaciones metodológicas que hagan más productivo y eficiente el quehacer científico. La metodología de investigación quizá también puede llegar a ser objeto de investigación.
- Finalmente se llamó la atención sobre algunas áreas adicionales sobre las cuales sería interesante investigar: cultivos de energía, biomasa y pirólisis, almacenamiento de energía y el hidrógeno como fuente de energía.



# ANEXOS

## ANEXO 1

### PROYECTOS DE INVESTIGACION DEL PROGRAMA NACIONAL DE ENERGIA Y MINERIA, EN EJECUCION

1. Nombre del proyecto: *Desarrollo de simulación de procesos en ingeniería química y simulación y controlabilidad de columnas de destilación.*  
Entidad: *Universidad Industrial de Santander.*  
Investigadores principales: *Mario Alvarez Cifuentes y Carmelo fuentes L.*
2. Nombre del proyecto: *Preparación, transporte y combustión de emulsiones y dispersiones de hidrocarburos pesados y carbón pulverizado.*  
Entidad: *Universidad Industrial de Santander.*  
Investigadores principales: *Jorge Enrique Pulido y Jorge Luis Grosso.*
3. Nombre del proyecto: *Montaje de una planta piloto demostrativa para el procesamiento de minerales auroargentíferos.*  
Entidad: *Universidad Industrial de Santander.*  
Investigador principal: *Julio Elías Pedraza.*
4. Nombre del proyecto: *Diseño, suministro e instalación de una red de medición de descargas eléctricas atmosféricas en Colombia.*  
Entidad: *Interconexión Eléctrica S.A., ISA.*  
Investigador principal: *Germán Piñeros Palacino.*
5. Nombre del proyecto: *Plan de investigación sectorial 1992.*  
Entidad: *Convenio ISA-Colciencias.*  
Investigador principal: *Interconexión Eléctrica S.A., ISA.*  
*Jairo Jiménez.*
6. Nombre del proyecto: *Desarrollo de celdas solares basadas en películas delgadas.*  
Entidad: *Universidad Nacional de Colombia.*  
Investigador principal: *Gerardo Gordillo.*

7. Nombre del proyecto: *Utilización del biogás como combustible para motores de combustión interna.*  
Entidad: Universidad Industrial de Santander.  
Investigador principal: Humberto Cárdenas Gómez.
8. Nombre del proyecto: *Investigación de una planta piloto para el tratamiento de las aguas negras rurales y aguas residuales del beneficio del café.*  
II etapa. II fase.  
Entidad: Universidad del Quindío.  
Investigador principal: Raúl Castro Amórtegui.
9. Nombre del proyecto: *Aplicación de equipos dinámicos de flujo inercial y eléctricos en bombeo directo y remoto con molinos de viento.*  
Entidad: Universidad de los Andes.  
Investigador principal: Alvaro Pinilla Sepúlveda.
10. Nombre del proyecto: *Análisis de políticas y desarrollo de un modelo de gestión energética regional basado en técnicas de dinámica de sistemas.*  
Entidad: Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín.  
Investigador principal: Isaac Dynner.
11. Nombre del proyecto: *Desarrollo e implementación de instrumentos de modelización para la gestión energética en Colombia.*  
Entidad: Universidad de los Andes.  
Investigadora principal: Angela Inés Cadena M.
12. Nombre del proyecto: *Determinantes de la inversión extranjera en la actividad petrolera.*  
Entidad: Centro Regional de Estudios del Tercer Mundo, CRESET.  
Investigadora principal: Alicia Puyana.
13. Nombre del proyecto: *Desarrollo de metodologías y tecnología para la implementación de la automatización de los sistemas de distribución en Colombia.*  
Entidad: Universidad de los Andes.  
Investigador principal: Mauricio Duque.
14. Nombre del proyecto: *Control de la corrosión en la industria petrolera del país: tratamiento de superficies y recubrimientos poliméricos anticorrosivos vía plasma.*  
Entidad: Universidad Industrial de Santander.  
Investigador principal: Jorge Hernando Panqueva.
15. Nombre del proyecto: *Desarrollo de inhibidores y aditivos orgánicos.*  
Entidad: Universidad Industrial de Santander.  
Investigador principal: Clemente Retamoso Rodríguez.
16. Nombre del proyecto: *Producción e identificación de buckminsterfullerenos.*  
Entidad: Centro Internacional de Física.  
Investigador principal: Richard William Haase.
17. Nombre del proyecto: *Influencia de la materia mineral y de la oxidación aérea en la pirólisis del carbón: su importancia en la utilización de los carbones colombianos.*  
Entidad: Universidad de Antioquia.  
Investigador principal: Fanor Mondragón.

## ANEXO 2

## PARTICIPANTES EN EL SIMPOSIO DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA Y MINERIA

Angela Inés Cadena M.	Universidad de los Andes
Gerardo Gordillo Guzmán	Universidad Nacional de Colombia
José María Rincón	Universidad Nacional de Colombia
Horacio Torres Sánchez	Universidad Nacional de Colombia
Francisco Román Campos	Universidad Nacional de Colombia
Antonio Mejía Umaña	Universidad Nacional de Colombia
Adolfo Alarcón	Ingeominas
Carlos Sánchez	Instituto de Asuntos Nucleares
Estrella Parra	Universidad Nacional de Colombia
Ricardo Ramírez	Instituto de Asuntos Nucleares
Humberto Ospina	Carbocol
Badel Corrales	Carbocol
Carlos Sánchez Beltrán	Carbocol
Clemente Forero	Colciencias
José Luis Villaveces	Colciencias
Alfonso Maldonado Cerón	Colciencias
Santiago Fonseca	Colciencias
Carlos Luis Torres	Colciencias
José Alberto Estrada	Colciencias
Fernando Lecaros	Consejo del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería
Humberto Rodríguez	Consejero del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería
Olga Escobar	Ministerio de Minas y Energía
Kurt Bayer	Instituto Colombiano del Petróleo
Fernando Navas Mutis	Universidad de los Andes
Julio Sampedro	Consultor
Hernando Díaz	Universidad Nacional de Colombia
Fanor Mondragón	Universidad de Antioquia
Medardo Gamboa	Instituto Colombiano del Petróleo
Jorge Enrique Pulido	Universidad Industrial de Santander
Mario Alvarez Cifuentes	Universidad Industrial de Santander
Julio Rugeles	Universidad Industrial de Santander
Julio Elías Pedraza	Universidad Industrial de Santander
Leonardo Acevedo	Universidad Industrial de Santander
Uriel Navarro	Instituto Colombiano del Petróleo
Germán Oliveros	Universidad Industrial de Santander
Alvaro Ramírez	Universidad Industrial de Santander
Ariel Solano	Instituto Colombiano del Petróleo
Andrés Amell Arrieta	Universidad de Antioquia
Luis Alberto Meza	Universidad Nacional de Colombia
Elkin Vargas Pimiento	Universidad Nacional de Colombia
Jairo Jiménez	Interconexión Eléctrica S.A., ISA
Jorge López	EAFIT
Michel Hermelin	EAFIT
Magdalena Urhan	Universidad del Valle
Ricardo Angulo	Universidad del Atlántico
Rafael A. García	Universidad Popular del Cesar
Juan Carlos Duarte	Gobernación de Santander
Jorge Gómez Duarte	Universidad Industrial de Santander
Luis Felipe Casas	Universidad Industrial de Santander
Jesús Aristizábal Fernández	Instituto Colombiano del Petróleo
Roberto Canales Ruiz	Instituto de Investigaciones Eléctricas-México

*Luis Eduardo Castro Casabuenas*  
*Jorge Libardo García Pérez*  
*Giuliana Yucciante Santos*  
*Jesús Alberto Pajares*  
*Germán Poveda Jaramillo*  
*Héctor Quiroga Carrillo*  
*Rafael Serrano Sarmiento*

Mineralco  
Corpoven, S.A., Caracas  
Instituto Colombiano del Petróleo  
Instituto Nacional del Carbón, España  
Universidad Nacional de Colombia  
Ecopetrol  
Gobernación de Santander

Este libro terminó de imprimirse  
en los talleres de Tercer Mundo Editores  
en septiembre de 1993, Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
Apartado Aéreo 4817.



## ESTRATEGIAS

La actividad de los Programas Nacionales se enmarca dentro de las siguientes estrategias transversales:

**ARTICULACIÓN** de las actividades de ciencia y tecnología a través de la creación y fortalecimiento de redes disciplinarias y temáticas.

**REGIONALIZACIÓN** de la actividad científica y tecnológica para que las regiones puedan acceder en forma directa a los procesos de producción y apropiación del conocimiento para enfrentar sus desafíos específicos.

**CONSOLIDACIÓN** de la comunidad científica y de desarrollo tecnológico en grupos de investigación con una dinámica innovadora.

**VALORIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO** por medio de su integración a los sectores productivos, a la solución de los problemas sociales y al desarrollo cultural.

**INTERNACIONALIZACIÓN** de la actividad científica y tecnológica para impulsar los procesos de apertura económica y la incorporación del país a la sociedad mundial. La red colombiana de investigadores en el exterior -Red Caldas-, y los programas de repatriación e inmigración de científicos son instrumentos complementarios de esta estrategia.

**FORMACIÓN DE INVESTIGADORES** al más alto nivel, especialmente en el de doctorado, dentro y fuera del país.

**INCORPORACIÓN A LA CULTURA COLOMBIANA** de la ciencia y la tecnología mediante el estímulo a la creatividad y a una relación más estrecha de todos los sectores sociales con el conocimiento.

La construcción de un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología abierto, no excluyente y participativo ha creado nuevos espacios para la creatividad científica y la innovación tecnológica en Colombia.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y los Consejos de los Programas Nacionales, conformados por investigadores, miembros del sector privado y funcionarios del Estado, orientan el Sistema. Los grupos de investigación interactúan con los Consejos haciendo sus propios ejercicios de planeación estratégica. Con esto se posibilita la negociación de sus planes, y su incorporación en la orientación general de las actividades nacionales de ciencia y tecnología. El amplio trabajo de planeación participativa que se desarrolló a lo largo de 1992, sentó las bases de esta relación entre los programas nacionales y los grupos de investigación.

En estos libros se recogen los ricos materiales producidos durante ese primer año de funcionamiento del nuevo Sistema. Es un arduo camino el recorrido desde la convocatoria de la Misión de Ciencia y Tecnología, y la expedición de la Ley 29 de 1990 y de los Decretos que le dieron forma al Sistema.

Existen ahora mejores condiciones para que la actividad científica y tecnológica pueda desplegarse en Colombia. La iniciativa y la responsabilidad se desplazan, en gran medida del Estado a los empresarios, los investigadores y las universidades. Esta nueva alianza es indispensable para que la creatividad y el conocimiento científico apoyen el desarrollo económico, el desenvolvimiento cultural y la entrada de Colombia en condiciones favorables a la sociedad mundial.