

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES COMO APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR ENERGÉTICO

Eduardo Guerrero Forero¹

Enrique Angel Sanint²

RESUMEN

En el presente trabajo se propuso establecer la demanda de conocimiento en ecología y ciencias ambientales en el ámbito de la gestión energética; en su desarrollo involucró a un gran número de personas y entidades con el ánimo de obtener resultados de la mayor cobertura y validez posible.

A través de distintas estrategias metodológicas y distintas fuentes (encuestas, talleres, consulta documental, retroalimentación crítica por parte de especialistas) se obtuvo un análisis ponderado sobre las necesidades de investigación como insumo para alimentar los procesos de gestión ambiental en el ciclo técnico de proyectos energéticos. Se realizó un análisis subsectorial (carbón, electricidad, petróleo y energías alternativas) con el fin de alcanzar un nivel de detalle que permitiera señalar temas concretos prioritarios para la asignación de fondos destinados a investigación.

Se aspira a que este trabajo sirva para orientar la investigación ecológico-ambiental en función de las necesidades sectoriales energéticas y sea útil como referencia para la definición de políticas sobre ciencia y tecnología en el marco del Sector Energético, del SINA (Sistema Nacional Ambiental) y del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

ABSTRACT

This work intends to establish the knowledge demand in ecology and environmental sciences needed for the environmental management of energy projects; in this development a large number of people were consulted in order to obtain results as broad and valid as possible.

Using several methodological strategies and sources (pool, workshop, document search and feedback from experts) an analysis on the needs of research as a necessary input to the environmental management process was obtained. A sub-sector analysis (coal, electricity, oil and alternative energies) was performed to get the detail necessary to point out specific topics that are considered a priority for the allocation of research funds.

This work should be a guide to orient the ecological and environment research with the management needs of the energy sector. It also should be useful as a reference for the definition of science and technology policies for the energy sector, the National Environmental System and the National System of Science and Technology.

¹ Fondo para la Protección del Medio Ambiente - FEN Colombia (Financiera Energética Nacional S.A.) & Universidad Javeriana, Bogotá

² Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) & Universidad Nacional – Sede Medellín

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento científico-tecnológico es un insumo que determina la calidad de la gestión ambiental. Una adecuada interacción entre la comunidad científica y los responsables de grandes proyectos de desarrollo es deseable en términos de la eficiencia técnica, competitividad económica y adecuación al entorno socio-ambiental de tales proyectos.

El estímulo a la producción de nuevo conocimiento en áreas temáticas prioritarias, así como el monitoreo y sistematización de información pre-existente son, en consecuencia, ejercicios útiles en esta perspectiva.

El presente trabajo se propuso establecer la demanda de conocimiento en ecología y ciencias ambientales en el ámbito de la gestión ambiental energética. El mismo fue adelantado en cooperación entre el *Fondo FEN Colombia*, *ISAGEN* e *ISA* e involucró a un gran número de personas y entidades consultadas con el ánimo de obtener resultados de la mayor cobertura y validez posible.

ISA había desarrollado previamente un estudio que permitió elaborar una lista argumentada de necesidades de investigación aplicada al tema ambiental en el subsector eléctrico (ANGEL et al., 1995), la cual de hecho constituyó materia prima del presente trabajo y sirvió para reforzar la idea de que era menester, siguiendo la lógica del flujo de conocimiento, identificar también necesidades de investigación básica. El *Fondo para la Protección del Medio Ambiente – FEN Colombia*, por su parte, ha venido explorando el tema de la interacción entre ciencia, medio ambiente y energía (GUERRERO, 1999).

A través de distintas estrategias metodológicas y distintas fuentes (encuesta, talleres, consulta documental, retroalimentación crítica por parte de especialistas) se obtuvo un análisis ponderado sobre las necesidades de investigación como insumo para alimentar los procesos de gestión ambiental en el ciclo técnico de proyectos energéticos.

Se aspira a que este trabajo sirva para orientar la investigación ecológico-ambiental en función de las necesidades sectoriales energéticas y sea útil como referencia para la definición de políticas sobre ciencia y tecnología en el marco del Sector Energético, del

SINA (Sistema Nacional Ambiental) y del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

2. MARCO TEÓRICO

El estudio partió de las siguientes hipótesis:

- a- La investigación básica es subvalorada y subaprovechada por el sector energético.
- b- Existe una falta de comunicación entre los que realizan la investigación básica, comunidad científica, y los que la requieren y la aplican, sector energético, autoridades ambientales y firmas consultoras.
- c- Una gestión ambiental será tanto más eficiente cuanto más y mejores insumos de ciencia reciba.
- d- La priorización de temas de investigación puede ordenar los flujos de oferta y demanda de conocimiento alrededor de la gestión ambiental sectorial.

El objetivo general del trabajo consistió en identificar necesidades de investigación básica dirigida a llenar vacíos de información sobre aspectos físico-bióticos y socio-económicos de interés en la gestión ambiental de proyectos energéticos. De manera complementaria, se propuso también hallar las causas de la falta de comunicación entre productores y demandantes de investigación, y proponer estrategias y soluciones.

2.1. Ciencia, Medio Ambiente y Energía

En el mundo de hoy la ciencia y la tecnología son sinónimos de competitividad y acceso a mercados. Hoy en día el conocimiento y sus aplicaciones son elementos centrales del desarrollo de la sociedad.

En una primera aproximación, la ciencia es una actividad valiosa *per se* como promotora de conocimiento y de valores éticos, culturales y estéticos. Pero, además de ello, en la medida en que sus resultados se orienten hacia propósitos productivos, es un factor de crecimiento económico y se traduce en desarrollo social (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA & COLCIENCIAS, 1995).

Tal como ocurre en cualquier otra actividad industrial, la eficiencia y competitividad del sector energético depende, en buena medida, de la capacidad de

investigación científica y apropiación de tecnología del país en los temas estratégicos que condicionan la actividad de generación, transporte y consumo de energía.

Lo ambiental, como elemento transversal, es cada vez más un factor que determina el éxito de los proyectos energéticos. Además de los posibles impactos que se ocasionen, resulta estratégico el manejo de variables ambientales que afectan la vida útil, eficiencia y rentabilidad de un proyecto. Una gestión ambiental pobremente alimentada por insumos científicos corre el riesgo de ser ineficiente y de limitado beneficio.

El sector energético colombiano debe evolucionar en concordancia con los principios propios de un desarrollo humano sostenible, tal como lo consagran la Constitución Nacional y la ley 99 de 1993 (la cual creó el Sistema Nacional Ambiental - SINA) (CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 1993).

2.2. Investigación Básica, Investigación Aplicada y Gestión Ambiental Energética

Si bien es cierto que existen temas de investigación urgentes y de inmediato aprovechamiento (investigación aplicada), la capacidad y autonomía de una gestión ambiental en el mediano y largo plazo requiere de una permanente alimentación de conocimiento básico sobre ecología y ciencias ambientales.

La investigación básica está orientada a mover la frontera del conocimiento, sin que los investigadores tengan *a priori* ninguna perspectiva de aplicación de sus trabajos. Es la ciencia que se produce primordialmente en universidades y centros de investigación. Aunque no es “aplicada” puede ser “aplicable”.

La investigación aplicada, por su parte, tiene una finalidad práctica y se lleva a cabo principalmente en instituciones que producen los conocimientos y competencias técnicos necesarios para las políticas oficiales y en laboratorios de investigación industrial.

Como resultado de la investigación, tanto básica como aplicada, se producen desarrollos tecnológicos o experimentales, que involucran el cambio de escala (“escalamiento”) de las aplicaciones generadas. Es a este nivel que se adelantan los proyectos piloto y

surgen las patentes de productos o procesos. Usualmente se lleva a cabo en el sector privado o en organismos tecnológicos públicos.

Por supuesto estas no son categorías discretas sino que se trata de actividades que se traslapan y nutren mutuamente. De hecho, la división entre investigación básica y aplicada es artificial con una frontera amplia y dinámica. Muchos programas de investigación incluyen proyectos básicos y aplicados que responden a un propósito o función social (*‘mission oriented’*).

Los estudios de orden práctico requieren de información básica rigurosa y actualizada. Es el caso de los estudios de impacto ambiental, los cuales se alimentan de trabajos fundamentales en los campos físico, biológico y social. Desafortunadamente, con frecuencia los estudios de impacto ambiental se soportan sobre datos insuficientes, imprecisos y mal extrapolados, a partir de limitadas fuentes de información.

Dentro del Plan Energético Nacional - PEN, sin embargo, los planteamientos se limitan a procesos de I&D y de investigación aplicada en busca de nuevas tecnologías, olvidando que ningún desarrollo tecnológico es viable sin fuertes fundamentos en las ciencias básicas y que solo es posible asimilar y apropiarse realmente de la tecnología si se posee una buena base científica. Si se identifican las necesidades de investigación básica y su aplicabilidad en el sector se puede afianzar una estrategia de I&D que esté articulada con la demanda social y encaminada al desarrollo sostenible.

De igual forma, la aun débil articulación del componente ambiental al planeamiento minero - energético tiene relación con el hecho de que las instituciones del sector energético, del SINA y del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología han pretendido hasta ahora resolver los problemas de investigación y desarrollo tecnológico cada una por su lado, sin tener en cuenta la interacción de sus actividades y el objetivo integral de la nación.

Es precisamente este panorama de desarticulación institucional, a pesar de disponer de legislación y marcos de política convenientes, uno de los factores que ha dificultado la interacción entre la comunidad científica, las empresas del sector energético, el Sistema Nacional Ambiental - SINA y las firmas consultoras (Figura 1).

Además, ha hecho falta tender puentes entre la comunidad científica y las empresas del sector productivo, energético, en este caso. De lo que se trata es de estimular a los científicos para que orienten sus trabajos, sin renunciar a sus líneas de investigación, hacia problemas básicos que puedan resultar pertinentes en el desarrollo de herramientas de gestión ambiental. De la misma manera, habría que reforzar la capacidad de los responsables de la gestión ambiental en las empresas, así como de los consultores, para incrementar su capacidad de monitoreo, traducción e interpretación de la información científica a la luz de las particularidades de los ciclos técnico y ambiental de los proyectos energéticos.

Precisamente, el fomento de la investigación científica y

tecnológica de Colombia ha pasado por dos enfoques en los últimos años: a) el primero fue el de fortalecer la capacidad investigativa a través de apoyo financiero, pero los conocimientos generados por estas investigaciones no fueron aplicados al sector productivo; b) el segundo se centró en la demanda de tecnología del sector productivo sin darle mayor importancia al desarrollo de una capacidad de investigación y generación de conocimiento. Es por esto que es importante un fomento de la investigación que tome en cuenta tanto la oferta y demanda de conocimiento como la integración de la ciencia y tecnología al sector productivo, a la sociedad y a la cultura colombiana (PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA & COLCIENCIAS, 1995).

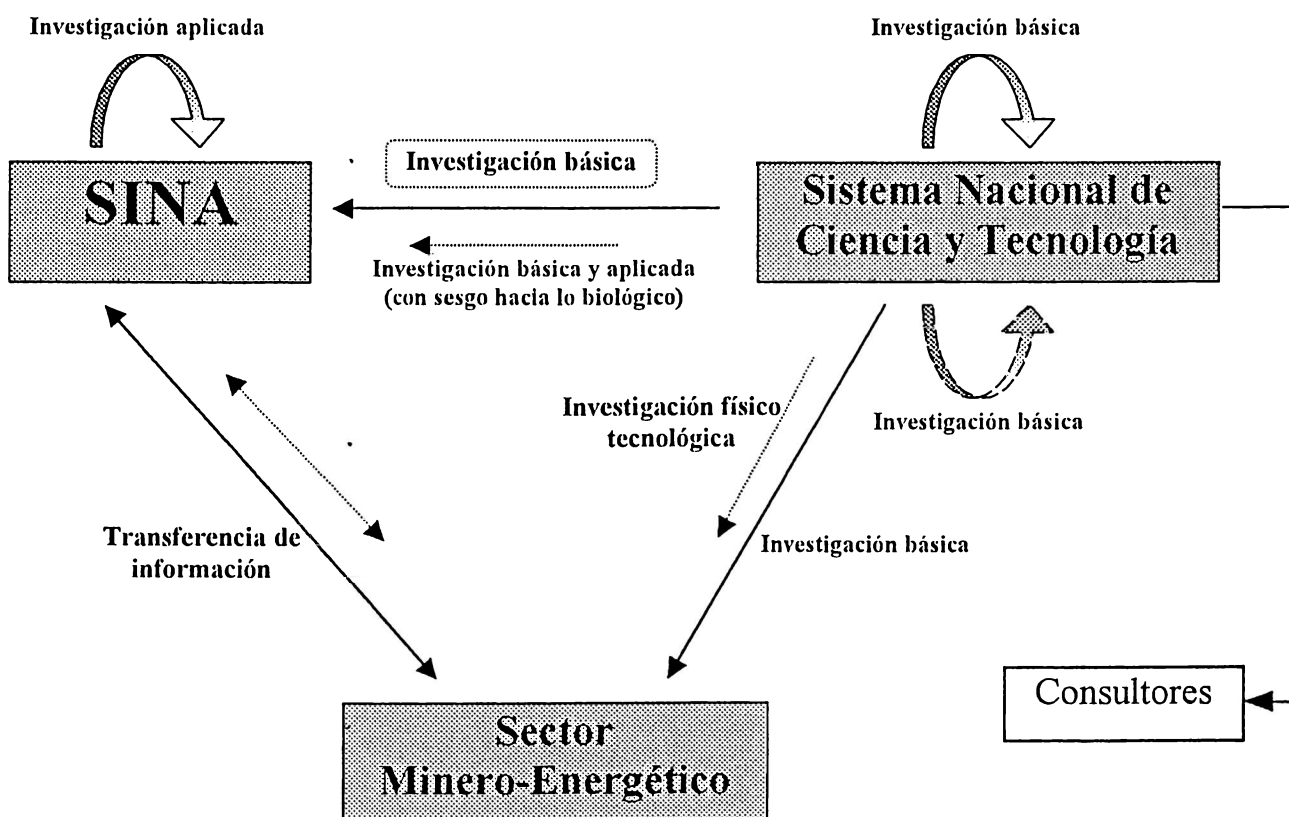


Figura 1. El marco institucional de la relación entre la actividad científico-tecnológica y la gestión ambiental del sector energético

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

En el diseño de la metodología para cumplir con los objetivos del presente trabajo se partió de la necesidad de convocar la participación de los diversos actores involucrados en procesos de investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico orientados directa o indirectamente a la gestión ambiental del sector energético.

Para tal efecto se estructuró un enfoque progresivo que permitiera la participación de un amplio número de personas o entidades en las primeras etapas del proceso, exigiendo de ellos una baja inversión de tiempo -el necesario para responder una encuesta- y se fuera focalizando, al aumentar la profundidad de su participación.

Este enfoque llevo a proponer tres momentos en la investigación. El primero de ellos, la realización de una encuesta que permitiera detectar a grandes rasgos tanto las necesidades como la oferta de investigación, y proporcionara insumos para elaborar un documento base de discusión.

Un segundo momento se concibió como la realización de talleres presenciales, en los que los participantes, -seleccionados entre quienes respondieron la encuesta y representativos de diversos sectores de la academia, la investigación y la gestión ambiental- intercambiaran opiniones y elaboraran propuestas generales sobre el tema.

El tercer momento, derivado de los anteriores, fue el diseño de *diagramas impacto-gestión -conocimiento*³ y su resolución por parte de especialistas en los temas que se habían ido perfilando como los más pertinentes, buscando con ello llegar a un nivel de detalle suficiente para señalar temas prioritarios y criterios para la asignación de fondos de investigación.

3.1. Encuesta

Con el ánimo de empezar el trabajo consultando un amplio número de personas e instituciones, se diseñó una encuesta que permitiera una aproximación a

³ *Diagramas de flujo sobre la interacción entre impactos ambientales, medidas de manejo y necesidades de conocimiento científico - tecnológico*

algunos temas centrales de la investigación, con un enfoque cuantitativo. Para tal efecto se buscó amplio cubrimiento de sectores de la academia, la investigación y la gestión ambiental. Como resultado se obtuvo un total de 133 respuestas.

Los encuestados se estratificaron en cinco categorías, de acuerdo al tipo de entidad a la cual estaban vinculados y a su función dentro de ella, así:

Investigador: Persona que adelanta proyectos de investigación, bajo una óptica académica. No es directamente responsable por los impactos ambientales de ningún proyecto energético.

Gestor Ambiental: Funcionario con responsabilidades en el área ambiental cuya empresa desarrolla proyectos energéticos. Las entidades en cuestión presentan dos características: son responsables de la gestión ambiental de los impactos que se deriven de su actividad económica y deben necesariamente relacionarse con las autoridades ambientales para obtener permisos o licencias de tipo ambiental.

Consultor: Persona cuya entidad realiza estudios, asesorías y labores de planeamiento y/o acompañamiento, para los gestores ambientales. Usualmente, los contenidos temáticos de sus trabajos revisten el carácter de ingeniería, en el sentido de ser una propuesta específica de gestión ambiental para un impacto determinado en un proyecto particular.

Autoridad Ambiental: Funcionario público de una entidad encargada por la legislación del planeamiento, preservación, control y manejo de los recursos naturales y el medio ambiente. Su característica distintiva es que están autorizados por la legislación para expedir licencias y permisos ambientales.

Autoridad Energética: Funcionario público de una entidad encargada por la legislación del planeamiento y control de los recursos energéticos.

Las 133 respuestas recibidas se distribuyeron de la siguiente manera:

| | |
|-----------------------------|----|
| <i>Investigador</i> | 60 |
| <i>Gestor Ambiental</i> | 32 |
| <i>Consultor</i> | 15 |
| <i>Autoridad Ambiental</i> | 14 |
| <i>Autoridad Energética</i> | 12 |

3.1.1. Formato de la encuesta y entidades participantes

La encuesta distribuida a los participantes, además de los datos básicos de identificación, formuló cinco preguntas:

- ¿Cuáles son los impactos que Ud. considera relevantes en el Sector Energético?
(Pregunta de selección múltiple, se ofreció la posibilidad de escoger entre una lista de 31 impactos proporcionada en la encuesta).
- ¿Cuáles son las disciplinas que Ud. considera son relevantes en la generación de conocimiento básico que sirva de insumo en el manejo de los impactos seleccionados en la primera pregunta?
(Pregunta de selección múltiple, se proporcionó una lista de 31 disciplinas).
- De la lista de impactos ambientales de la primera pregunta, seleccione los cinco en los cuales existen los mayores vacíos de información que ameriten esfuerzos de investigación científica.
- Si Ud. es investigador, seleccione cinco impactos para los cuales Ud. o su grupo,

estarían en capacidad de ayudar a desarrollar una solución tecnológica o de gestión, a través de investigación básica.

- ¿Cuál sería la conexión ideal entre el sector energético y la comunidad científica?
(Pregunta de selección múltiple que invitó a escoger entre una lista de 8 opciones proporcionadas en la encuesta).

3.1.2. Resultados de la encuesta

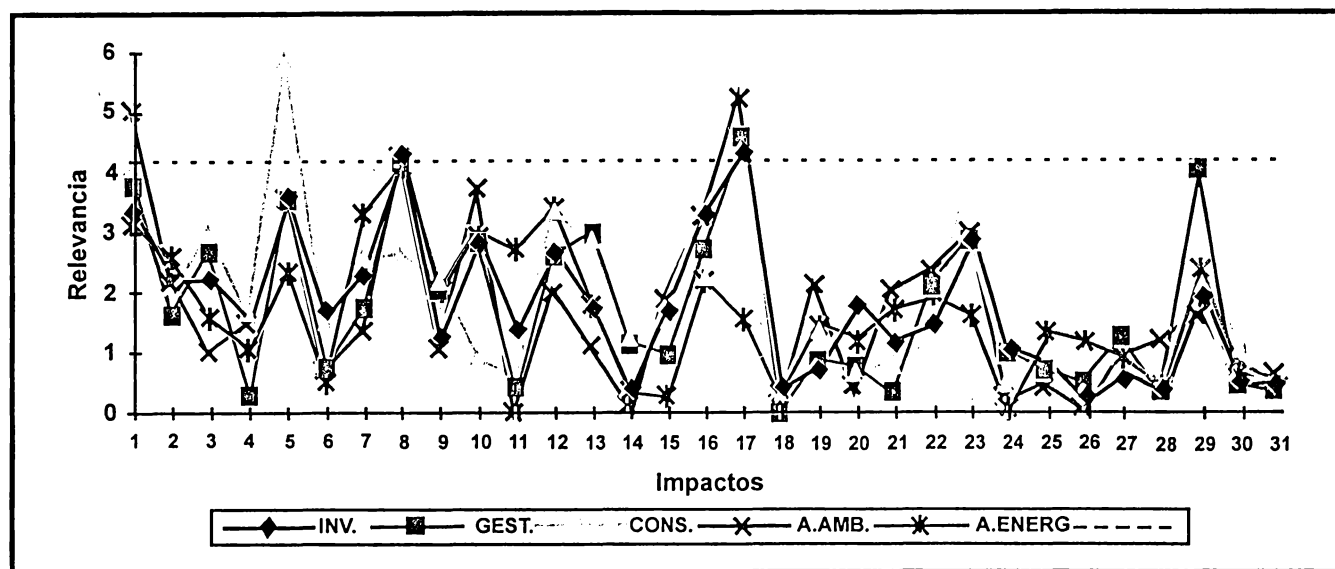
Pregunta 1

“De los siguientes impactos ambientales y socioeconómicos, ¿cuáles considera usted que son relevantes en el sector energético. Por favor seleccione 10 impactos en orden de importancia, según una escala de 1 a 10 (asigne 1 al ítem más importante en su concepto). Si usted es gestor ambiental adscrito a una entidad o empresa prestadora de servicios energéticos, refiérase específicamente a los impactos propios de su subsector.”

| | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | Erosión de suelos | 16 | Fragmentación de hábitats naturales |
| 2 | Contaminación de suelos | 17 | Pérdida de cobertura vegetal |
| 3 | Movimientos en masa/deslizamientos | 18 | Impactos causados por especies introducidas |
| 4 | Impactos sobre formaciones geológicas | 19 | Degradación biológica del suelo |
| 5 | Contaminación fisicoquímica (agua) | 20 | Impactos sobre migraciones de fauna |
| 6 | Eutroficación | 21 | Impactos sobre capacidades reproductivas de la biota |
| 7 | Contaminación térmica (agua) | 22 | Afectación de las condiciones de subsistencia humana |
| 8 | Alteración de ciclos naturales en aguas | 23 | Afectación de la estructura económica regional |
| 9 | Afectación de aguas subterráneas | 24 | Afectación de las condiciones de salud humana |
| 10 | Disminución de caudales | 25 | Afectación de minorías étnicas |
| 11 | Inundaciones | 26 | Afectación del patrimonio histórico |
| 12 | Contaminación por gases (aire) | 27 | Afectación de tradiciones culturales |
| 13 | Contaminación por partículas (aire) | 28 | Afectación de las formas tradicionales de organización |
| 14 | Ruido | 29 | Generación o potencialización de conflictos |
| 15 | Extinción local de especies | 30 | Alteración en la composición de la población humana |
| | | 31 | Otro: |

Los números que aparecen al lado izquierdo de cada opción sirven aquí para identificar dicha opción en las gráficas de resultados. Se determinaron, mediante un procedimiento de simulación, los límites de

significación estadística para cada pregunta. Para las preguntas 1 y 2 esta significación quedó delimitada así:



Límite inferior: 0
Límite superior: 4.22

Impactos ambientales

Los hechos a resaltar que se desprenden de las respuestas a esta pregunta son:

- Las autoridades ambientales, al igual que los consultores, -quienes están justo por debajo del límite de significancia- le otorgaron alta importancia a la erosión del suelo (impacto ambiental No. 1).
- Los consultores presentaron un altísimo consenso (relevancia próxima a 6.0) acerca de la importancia de la contaminación físico química del agua (impacto ambiental No. 5).
- La mayor parte de los grupos encuestados, excepto los consultores, le concedieron mucha importancia a la alteración de los ciclos de agua (impacto ambiental No. 8).
- Las autoridades ambientales, gestores e investigadores, adjudicaron alta importancia a la pérdida de cobertura vegetal (impacto ambiental No. 17), en cambio los consultores y autoridades energéticas no le asignaron mayor relevancia.

- Los consultores concedieron alta importancia a la afectación sobre la estructura económica regional (impacto ambiental No. 23).
- Los gestores ambientales otorgaron una importancia relativa -justo en el límite de significación- a la generación o potencialización de conflictos (impacto ambiental No. 29).
- Aún sin ser estadísticamente significativos, llama la atención el relativo consenso que existió acerca de la baja relevancia de varios impactos ambientales (se tomó como criterio que al menos tres sectores le hubieran otorgado menos de uno): eutroficación, inundaciones, ruido, impactos sobre migraciones de fauna, afectación de condiciones de salud humana, afectación de minorías étnicas, afectación de patrimonio histórico, afectación de tradiciones culturales (cerca a cumplir el criterio), afectación de formas tradicionales de organización y alteración de la composición de la población humana.
- Llama también la atención el impacto por introducción de nuevas especies (impacto ambiental No. 18), la única opción que generó

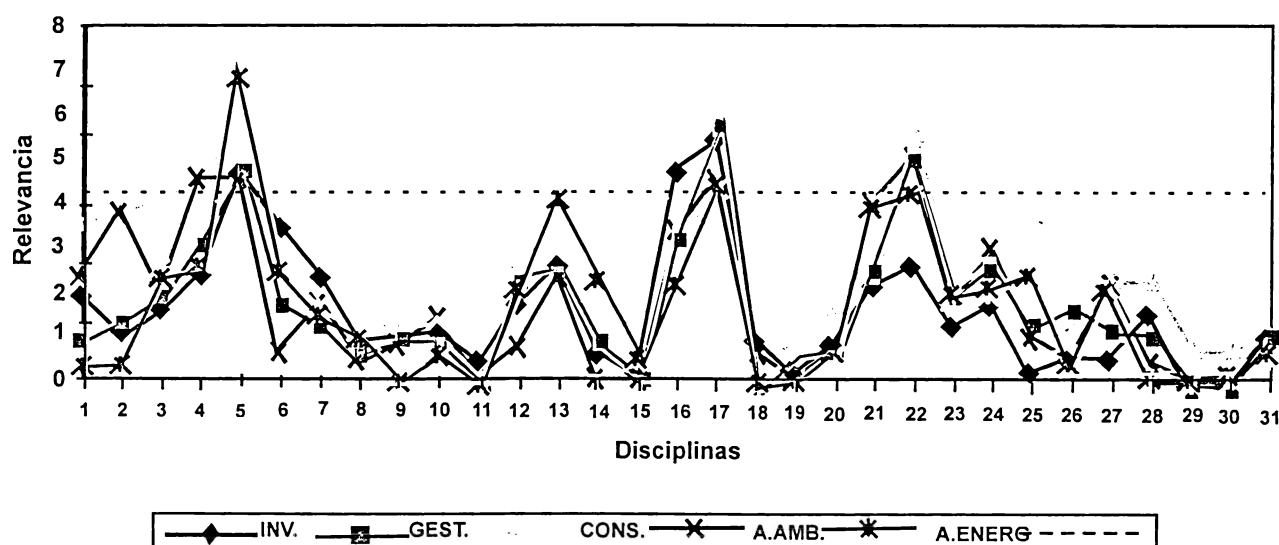
consenso universal acerca de su no relevancia.

- Es interesante que la opción “Otro” haya sido estadísticamente indistinguible de cero, lo que brinda la relativa seguridad de que no quedó faltando algún impacto o lo suficientemente importante para que fuera masivamente señalado.

Pregunta 2

“De las siguientes disciplinas, cuáles considera usted que son relevantes en la generación de conocimiento básico que sirva de insumo en el manejo de los impactos seleccionados en la anterior pregunta. Por favor seleccione 10 disciplinas y ordénalas según su importancia de 1 a 10”.

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1 Edafología | 16 Biología de la Conservación |
| 2 Agrología | 17 Ecología |
| 3 Geotecnia | 18 Taxonomía |
| 4 Geología | 19 Genética |
| 5 Hidrología | 20 Ecofisiología |
| 6 Limnología | 21 Economía Regional |
| 7 Meteorología | 22 Economía Ambiental |
| 8 Química Inorgánica | 23 Antropología |
| 9 Química Orgánica | 24 Sociología |
| 10 Bioquímica | 25 Comunicación Social |
| 11 Biología Molecular | 26 Ciencia Política |
| 12 Hidrodinámica | 27 Trabajo Social |
| 13 Climatología | 28 Salud Pública |
| 14 Mecánica de Fluidos | 29 Filosofía |
| 15 Acústica | 30 Teología |
| | 31 Otra: |



Disciplinas científico - tecnológicas

Usando el mismo tipo de criterio estadístico que para la pregunta 1, se tiene:

- Las autoridades ambientales y los consultores, le concedieron alta relevancia a la geología (disciplina No. 4) y a la hidrología (disciplina No. 5), y en esto

último coincidieron con todas las otras categorías de encuestados. De hecho, la hidrología es la única disciplina en la que la opinión de todos los sectores está por encima del límite de significación.

- Hubo una fuerte tendencia a considerar a la ecología (disciplina No. 17) como una disciplina altamente relevante, de lo cual se apartaron únicamente los consultores. Algo similar aconteció con la economía ambiental (disciplina No. 22), acerca de cuya importancia casi hubo consenso, pues tan sólo los investigadores la calificaron por debajo del límite de significancia.
- De otra parte, los investigadores destacaron la biología de la conservación (disciplina No. 16), seguidos por los consultores, quienes estuvieron apenas por debajo del límite de significación, pero llama la atención que las autoridades ambientales, en cambio, no le concedieran tanta importancia a esta disciplina.
- Así mismo, las autoridades energéticas consideraron la climatología (disciplina No. 13) como relevante, mientras que los demás grupos le asignaron una mediana calificación, en todo caso por debajo del límite de significancia.
- Basados en la misma pauta que en la pregunta 1 (es decir, tres sectores con menos de 1), aparecen con poca relevancia las siguientes disciplinas: química inorgánica, mecánica de fluidos, acústica, taxonomía, ecofisiología, comunicación social y ciencia política.
- En este sentido, con calificación prácticamente nula, hubo consenso universal acerca de la no relevancia de disciplinas tales como biología molecular, genética, filosofía y teología.
- Nuevamente, el hecho de que la opción "Otro" fuera indistinguible de cero brindó la relativa seguridad de que no quedó faltando alguna otra disciplina relevante.

Coherencia entre preguntas 1 y 2

Era de esperar algún tipo de correlación entre la importancia otorgada a los impactos y la relevancia dada a las disciplinas que los estudian o manejan. Los resultados mostraron algunas coherencias importantes de señalar, pero también situaciones contradictorias.

Dentro de las coherencias hay que señalar:

- Hubo un relativo consenso en la importancia otorgada a la alteración de los ciclos del agua coincidente con un consenso universal respecto a la relevancia de la hidrología. Así mismo, autoridades ambientales, gestores e investigadores concedieron alta importancia a la pérdida de cobertura vegetal, lo cual es consecuente con la alta relevancia que todos ellos le adjudicaron a la ecología.
- Los consultores le otorgaron alta importancia a la afectación económica regional y consecuentemente a la economía ambiental como disciplina.
- La poca importancia concedida a los impactos por introducción de nuevas especies, coincidió con la poca relevancia otorgada a la genética.

Por el contrario, los casos en los cuales los impactos ambientales no presentaron una clara reciprocidad con disciplinas asociadas fueron:

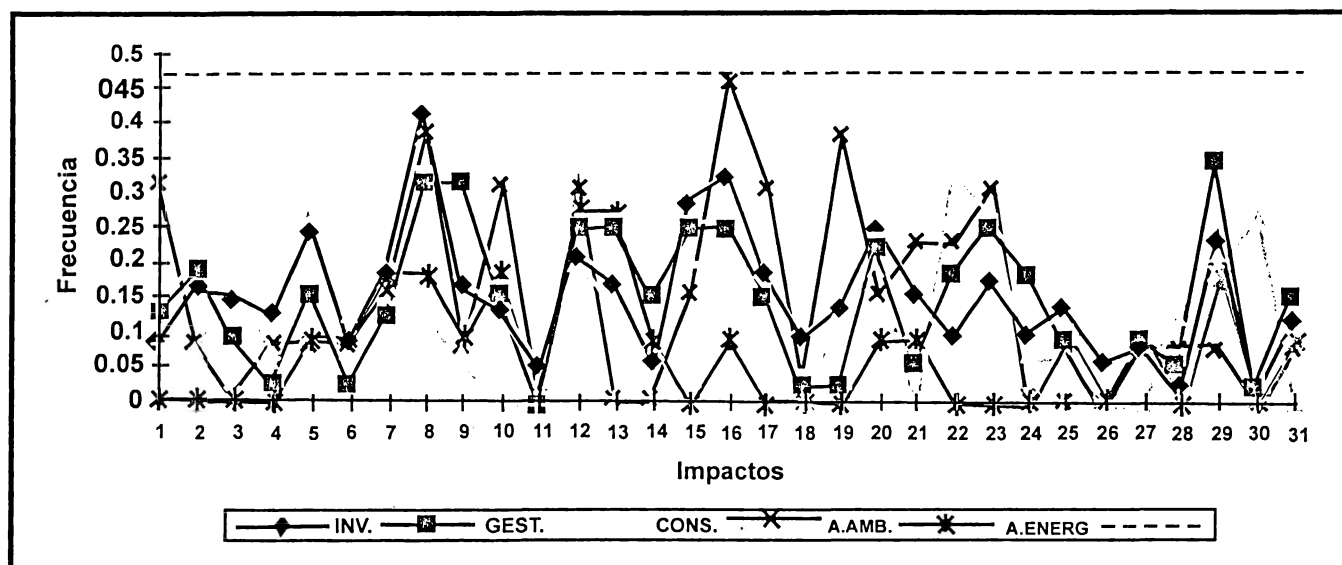
- A la erosión de suelos, como impacto ambiental, y a la geología, como disciplina, las autoridades ambientales y los consultores les adjudicaron alta importancia, pero no así a la edafología ni a la agrología. Esto podría atribuirse al hecho de que las dos últimas disciplinas son altamente especializadas y sus límites conceptuales podrían no ser claros para algunos encuestados.
- La contaminación del agua fue considerada de alta importancia por los consultores, quienes consecuentemente juzgaron relevante la hidrología, pero no así la química orgánica ni inorgánica. Aquí pudo haber un sesgo determinado por la formación académica de los consultores, predominantemente en ingenierías, con fuertes fundamentos de hidrología pero no así en químicas, área académica a la cual no le otorgarían un carácter aplicado.
- Aunque autoridades y gestores ambientales dispensaron relevancia a la pérdida de cobertura vegetal, no lo hicieron así con la biología de la conservación, como disciplina asociada, lo cual podría ilustrar otro caso de desconocimiento sobre el alcance de una disciplina científica la cual, además, no parece estar siendo diferenciada de la ecología.

- Los gestores ambientales asignaron alta importancia relativa a la generación de conflictos, pero en contraste le otorgaron una relevancia media a la sociología y casi despreciable a la ciencia política. En general, las ciencias sociales no son todavía percibidas como disciplinas capaces de implementar soluciones prácticas a problemas de gestión, además de lo cual la presencia de profesionales en áreas sociales es minoritaria especialmente dentro de los consultores y autoridades ambientales y energéticas. En el caso particular de la ciencia política, puede haber

la percepción de que ella está referida al ámbito de la macropolítica y no tanto al de la política regional o local.

Pregunta 3

“De la lista de impactos ambientales presentados en la pregunta 1, seleccione los cinco en los cuales existan los mayores vacíos de información que ameriten esfuerzos de investigación científica”.



Límite inferior de significancia: 0

Límite superior de significancia: 0.469

La ausencia de significancia en la mayoría de las respuestas es una clara señal de que las opiniones estuvieron sumamente dispersas y que se percibieron vacíos de información en varios y muy distintos impactos ambientales. De hecho, mientras en las respuestas a la pregunta 1 los encuestados establecieron algunos consensos, no mostraron en cambio tendencias definidas al responder la pregunta 3, lo cual puede significar en efecto que hay muchos frentes en los cuales trabajar, pero también puede ser el reflejo de un cierto desconocimiento del estado del arte.

La única respuesta que alcanzó el límite de significancia fue la de la autoridad ambiental, que planteó como vacío de información importante lo

relativo a la fragmentación de hábitats naturales.

Sin embargo, esta apreciación resulta paradójica pues desconoce el relativo 'boom' de la investigación en biología de la conservación producido por distintos grupos en el país, con énfasis precisamente en el problema de la fragmentación de hábitats. Posiblemente lo que ocurre es que la investigación no ha pasado al plano propositivo en cuanto a soluciones para el manejo de este impacto ambiental.

Con una significación menor, pero que se destaca, estuvo el señalamiento de las autoridades ambientales y los investigadores hacia las alteraciones de ciclos del agua, de las autoridades ambientales hacia la

degradación biológica del suelo y los gestores ambientales hacia la potencialización de conflictos.

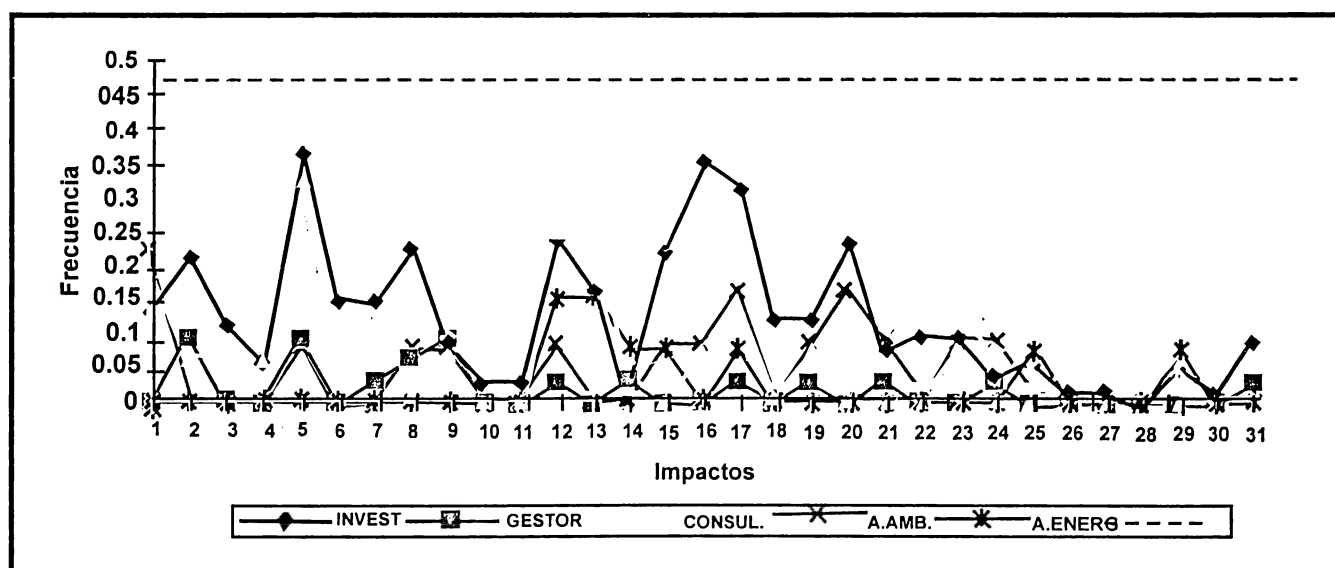
Hubo un consenso universal -todos los grupos calificando por debajo de 0.1- acerca de una baja prioridad en la investigación sobre: inundaciones, impactos por nuevas especies, afectación de patrimonio histórico y afectación de tradiciones culturales.

En esa misma dirección se presentó un relativo consenso -más de tres grupos calificados por debajo de 0.1- acerca de la no prioridad de investigaciones en los campos de: impactos sobre formaciones geológicas,

eutroficación, afectación de condiciones de salud humana, afectación de minorías étnicas, afectación de formas tradicionales de organización y alteración de la composición de la población humana.

Pregunta 4

“Si usted es investigador, seleccione 5 impactos para los cuales usted o su grupo de investigación estaría en capacidad de ayudar a desarrollar una solución tecnológica o de gestión, a través de investigación básica.”



El hecho de que, excepto los gestores, todos los demás reportaran alguna capacidad investigativa indicaría que muchos encuestados consideraron que la investigación no es una actividad exclusiva de los investigadores formales. Pareciera existir, en todo caso, una confusión sobre el verdadero ámbito de la actividad investigativa, la cual se desarrolla en el seno de grupos de investigación e instituciones especializadas.

La autoridad ambiental reportó alguna capacidad investigativa en erosión del suelo y una capacidad menor en pérdida de cobertura vegetal e impactos por migraciones de fauna.

Los consultores reportaron capacidad investigativa en erosión del suelo, contaminación físico-química del agua, contaminación térmica del agua y contaminación

por partículas y por gases.

La autoridad energética sólo ofreció una pequeña capacidad para adelantar investigación en contaminación por gases y partículas en tanto que, como ya se ha dicho, los gestores ambientales no manifestaron ninguna capacidad investigativa importante.

Los investigadores por su parte manifestaron una capacidad alta en temas como: contaminación físico-química del agua, fragmentación de hábitats y pérdida de cobertura vegetal; una capacidad media en extinción local de especies, contaminación del suelo, alteración de ciclos del agua, contaminación por gases y partículas e impactos por migraciones de fauna y; una capacidad baja en eutroficación y contaminación térmica del agua.

Llama la atención la reiterada contradicción alrededor del tema “fragmentación de hábitats”, el cual como se recordará fue señalado como un área con vacíos de información en la pregunta 3, pero que aquí aparece como un tema que goza de una relativamente alta oferta de conocimiento por parte de la comunidad científica. Es un caso particular que muestra de manera clara la existencia de problemas de comunicación entre oferentes y demandantes de ciencias y tecnologías ecológico-ambientales.

Existió consenso universal -todos los grupos por debajo de 0.05- acerca de una baja capacidad para realizar investigación en temas como: impactos sobre formaciones geológicas, disminución de caudales, inundaciones, afectación de tradiciones culturales y afectación de formas tradicionales de organización.

Es importante, a este respecto, la respuesta de los investigadores, que calificaron con menos de 0.05 su capacidad como grupo para realizar investigación en disminución de caudales, inundaciones, ruido, afectación sobre patrimonio histórico, tradiciones culturales, formas tradicionales de organización y alteración de la composición de la población humana.

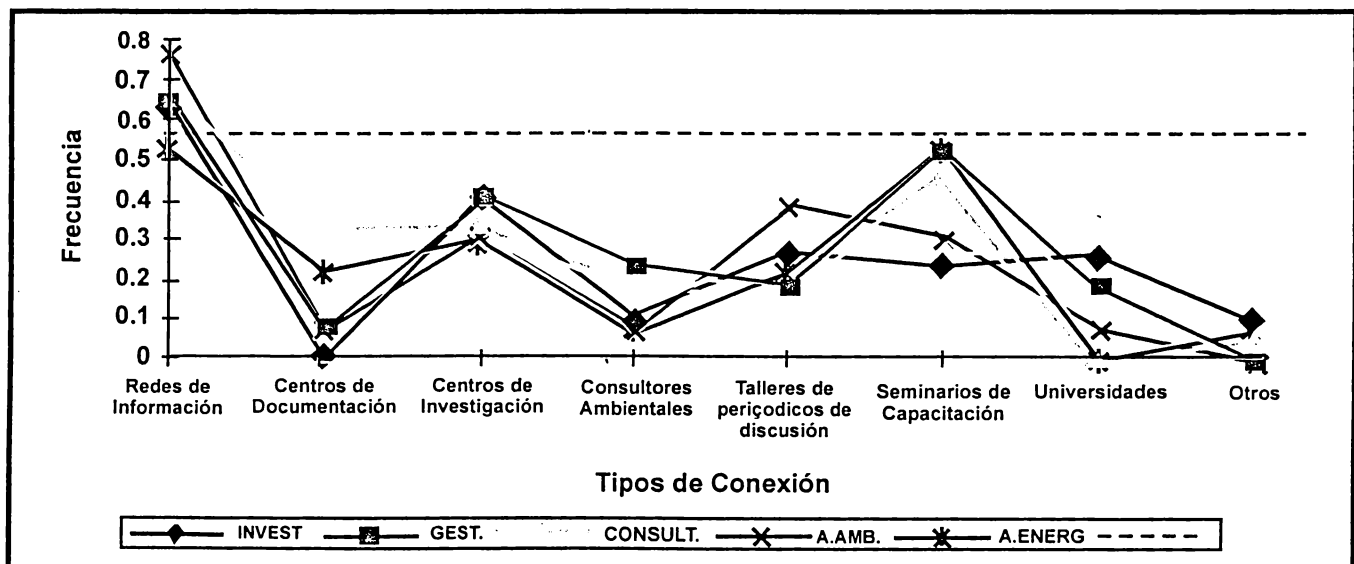
Vale la pena señalar, finalmente, que existió un sesgo

involuntario de la encuesta puesto que a pesar de haber sido enviada a investigadores de todas las grandes áreas temáticas, las respuestas recibidas fueron mayoritariamente de investigadores en el área de las ciencias naturales en detrimento de las ciencias sociales. Sin embargo, esta situación puede ser en todo caso un reflejo de la baja proporción de científicos sociales involucrados en procesos de investigación ambiental.

Pregunta 5

“¿Cuál sería la conexión ideal entre el sector energético y la comunidad científica. Seleccione dos opciones?”

1. Redes de información
2. Centros de Documentación
3. Centros de Investigación
4. Consultores ambientales
5. Talleres periódicos de discusión
6. Seminarios de capacitación e información
7. Universidades
8. Otra



Límite inferior de significancia: 0
 Límite superior de significancia: 0.564

Fueron entonces significativas las respuestas siguientes:

Todos los grupos (incluyendo a la autoridad energética que está en el límite de significancia) prefirieron una red de información.

Los gestores ambientales y la autoridad energética -en el límite de significación- apreciaron además los seminarios de capacitación.

De otra parte, fue clara la baja predilección por medios como centros de documentación, consultores ambientales o universidades, como mecanismo de integración entre comunidad científica y sector energético.

De nuevo, la opción "Otro" aparece como estadísticamente indistinguible de cero, lo que muestra que no quedó faltando alguna otra alternativa relevante.

3.1.3. Conclusiones relativas a los resultados de la encuesta

Las respuestas a la encuesta permiten identificar unos impactos ambientales y unas disciplinas científicas alrededor de las cuales se concentra el interés de los encuestados en términos de la relación entre ciencia y gestión ambiental del sector energético.

Es interesante analizar la relación entre los impactos ambientales (pregunta 1) y las disciplinas (pregunta 2) que tuvieron mayor relevancia en la encuesta. Se pueden identificar al menos tres situaciones que plantean los resultados (*Tabla 2*).

Una primera situación sería la de aquellos impactos ambientales señalados reiteradamente como relevantes, asociados a disciplinas científicas igualmente destacadas, y los cuales simultáneamente fueron definidos como áreas temáticas con vacíos de información y cuentan con grupos de investigadores formados. Estos impactos y disciplinas sugieren temáticas que serían opciones claras para estimular y financiar investigación científico - tecnológica.

Tal sería el caso de temas como la alteración de los ciclos naturales del agua en asocio con la hidrología y de un grupo de otros temas asociados a la ecología: fragmentación de hábitats, pérdida de cobertura vegetal, impacto

sobre migraciones de fauna y extinción local de especies.

Otra situación estaría relacionada con temas señalados como relevantes pero para los cuales de acuerdo con la encuesta no existiría una suficiente capacidad investigativa. Es el caso de temas en el ámbito de la economía regional como la afectación de la estructura económica regional; pero también de otros como la generación o potencialización de conflictos, que no fueron asociados con disciplina alguna. En esta esfera temática la acción a tomar debería involucrar tanto financiación de investigaciones como fortalecimiento de la capacidad investigativa.

Una tercera condición se refiere a aquellas respuestas que no mostraron consistencia a través de las cuatro primeras preguntas de la encuesta. De un lado, el impacto ambiental "erosión de suelos", que fue señalado como relevante en la primera pregunta, no recibió luego ninguna atención desde el punto de vista de las disciplinas (pregunta 2), de los vacíos de información (pregunta 3) ni de la capacidad investigativa (pregunta 4). Esto pone de manifiesto una cierta incongruencia entre la importancia asignada a este impacto ambiental y los procesos de ciencia y tecnología relacionados. Posiblemente el nivel de divulgación de algunos exitosos programas de control de erosión (cg. Algunas CARs, CIAT, FIDAR, entre otros) sea insuficiente como para que estén siendo reconocidos y extrapolados.

En este mismo grupo se encontraría el caso del impacto "contaminación por gases" que si bien no se ve como relevante dispone paradójicamente de una oferta de investigación y es vista, además, como un área donde hay vacíos.

Estos temas donde no se ve clara la relación entre oferta y demanda de ciencia y tecnología, ameritarían mayor divulgación, monitoreo tecnológico y un análisis más cuidadoso antes de considerarlos como prioridades dentro de políticas de financiación de investigaciones.

Un poco ajena a las otras preguntas, la pregunta 5 proponía una serie de alternativas para la vinculación entre comunidad científica y sector energético. Dada la contundencia de la respuesta, pareciera recomendable orientar esfuerzos hacia la exploración de distintas alternativas para la construcción de redes de información.

En términos generales, la encuesta resultó orientadora, pero evidentemente sus resultados debían ser validados, detallados y profundizados a través de otros instrumentos metodológicos. Para ello, tomando como punto de partida los resultados de la encuesta, el presente trabajo continuó desarrollándose a través de las siguientes estrategias: talleres de expertos, resolución de diagramas impacto-gestión-conocimiento por parte de gestores ambientales y, revisión crítica de un informe preliminar del trabajo por parte de especialistas (usted se encuentra colaborando con esta última instancia).

3.2. Talleres

En este segundo momento de la investigación se buscó un espacio donde se pudiera intensificar la participación de los encuestados de tal forma que se permitiera el intercambio de opiniones entre los diferentes actores involucrados en el proceso de creación, divulgación y aplicación de conocimiento científico-tecnológico orientado a la gestión ambiental. En particular, se trató de validar, cualificar y aumentar la profundidad de análisis de los resultados de la encuesta.

Tabla 2. Relaciones entre oferta y demanda de ciencia y tecnología para la gestión ambiental del sector energético según resultados de encuesta

| Impactos más relevantes | Disciplinas relacionadas | Vacíos de información (demanda) | Capacidad (oferta) de investigación |
|--|--|-------------------------------------|--|
| Pérdida de cobertura vegetal | Ecología, Biología de la Conservación, Agrología | Fragmentación de hábitats naturales | Fragmentación de hábitats naturales & Pérdida de cobertura Vegetal |
| Alteración de los ciclos de agua | Hidrología, Climatología | Alteración ciclos de agua | Alteración ciclos de agua |
| Erosión de suelos | | | |
| Contaminación físico-química del agua | | | |
| Afectación de la estructura económica regional | Economía Ambiental | Afectación economía regional | |
| Generación de conflictos | | Generación de conflictos | |
| | | Contaminación por gases | Contaminación por gases |
| | | | Impacto sobre migración de aves |
| | | | Extinción local de especies |

3.2.1. Identificación de temas de investigación básica en los Talleres

Como complemento a la encuesta, y con el ánimo de cualificar los resultados de la misma, se hizo un ejercicio consistente en identificar líneas prioritarias de investigación científica y tecnológica. Dada la diversidad de los proyectos dentro del sector energético, y teniendo en cuenta que la gestión ambiental debe ser diseñada de acuerdo a cada tipo de proyecto, se optó por relacionar cada tema con los diferentes subsectores del sector energético: carbón, electricidad, hidrocarburos (petróleo y gas) y energías alternativas.

Mediante una metodología de trabajo en grupo desarrollada por la GTZ, basada en tarjetas en las cuales cada participante consigna su opinión, y luego el grupo en consenso analiza, selecciona y ordena las ideas, se construyó la siguiente tabla (*Tabla 3*):

3.3. Diagramas de Flujo impacto ambiental - gestión - conocimiento

Partiendo de los temas de investigación identificados en los talleres se consultó a especialistas subsectoriales (carbón, electricidad, petróleo y energías alternativas) con el fin de que gestionaran los diagramas de flujo de información científico - tecnológica de acuerdo a los impactos más relevantes en cada subsector. En esta fase del presente trabajo se pretendió alcanzar un nivel de detalle que permitiera señalar temas concretos prioritarios para la asignación de fondos destinados a investigación. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES GENERALES

4.1. Temas y Disciplinas Científicas Prioritarios - Investigación Básica

Los temas de investigación ambiental básica que, de acuerdo con la amplia consulta realizada en el marco de este trabajo, aparecen como relevantes para el país son:

Según resultados de la encuesta y de los talleres (Tablas 2 y 3)

- Pérdida de cobertura vegetal
- Fragmentación de hábitats naturales
- Alteración de ciclos naturales de agua
- Contaminación físico-química del agua
- Contaminación por gases
- Erosión de suelos
- Afectación de la estructura económica regional
- Generación o potencialización de conflictos
- Cuencas hidrográficas
- Estudios en Biología de la Conservación
- Caracterización de ecosistemas
- Biotecnología ambiental y de suelos
- Desarrollo de sistemas bioindicadores
- Modelos teóricos para el análisis de sistemas ambientales
- Procesos de información y comunicación
- Investigaciones socio-económicas y culturales

Tabla 3. Temas de investigación básica, según resultados de la encuesta y de los talleres.

| TEMAS DE INVESTIGACIÓN BÁSICA COMO INSUMO PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL (según especialistas reunidos en taller) | SUBSECTORES | | | |
|--|-------------|--------------|---------------|-----------------------|
| | Carbón | Electricidad | Hidrocarburos | Energías Alternativas |
| Información y Comunicación | | | | |
| Metodologías en información y comunicación | X | X | X | X |
| Diagnósticos sociológicos básicos para entender la comunidad | X | X | X | X |
| Dinámica social frente a procesos de desarrollo | X | X | X | X |
| Biotecnología | | | | |
| Mejoramiento genético de organismos biodegradadores | | X | X | |
| Microbiología de suelos | X | X | X | |
| Investigaciones socio - económicas y culturales | | | | |
| Política y legislación de recursos biológicos | X | X | X | X |
| Tenencia de la tierra | X | X | X | |
| Estructuras de mercadeo | | X | X | |
| Patrones culturales de consumo | | X | X | |
| Caracterización de Ecosistemas | | | | |
| Taxonomía y sistemática vegetal | X | X | X | X |
| Inventarios de recursos biológicos | X | X | X | |
| Uso y valoración de recursos biológicos | X | X | X | |
| Mapas de vegetación de Colombia | X | X | X | |
| Cuencas Hidrográficas | | | | |
| Investigación interdisciplinaria de cuencas (enfoque sistémico) | X | X | X | X |
| Caracterización geomorfológica de suelos | X | X | X | |
| Balance Hídrico | | X | | |
| Contaminación de aguas subterráneas * | X | X | X | |
| Técnicas para medir capacidad de la fuente receptora | X | X | X | |
| Balance hídrico de diferentes coberturas vegetales | | X | | |
| Rendimientos hidrológicos comparativos | | X | X | |
| Bioindicadores | | | | |
| Bioindicadores de contaminación | X | X | X | |
| Identificación de organismos que representan un tipo de hábitat determinado - Bioindicadores- | X | X | X | |
| Técnicas de análisis de contaminantes en plantas y animales | X | X | X | |
| Bioacumulación de contaminantes en fauna acuática | | X | X | |
| Indicadores de Gestión ambiental para facilitar la evaluación | X | X | X | X |
| Biología de la Conservación | | | | |
| Conservación in situ | | X | | |
| Capacidad ambiental / capacidad de carga * | X | X | X | X |
| Sucesión ecológica | X | X | X | X |
| Fragmentación de hábitats | X | X | X | X |
| Restauración de Ecosistemas | X | X | X | X |
| Investigación estructural - funcional de ecosistemas tropicales | X | X | X | X |
| Desarrollos metodológicos conceptuales | | | | |
| Modelos teóricos para el análisis de sistemas ambientales | X | X | X | X |

* Se entiende como capacidad de carga de un ecosistema las condiciones mínimas para garantizar la sostenibilidad del mismo

Según resultados del diligenciamiento por parte de expertos subsectoriales de diagramas de flujo impacto-gestión-conocimiento:

Subsector eléctrico

- Impacto de los cambios de calidad y velocidad del agua sobre fauna y flora acuática
- Hábitos de vuelo de las aves en función del territorio colombiano
- Migraciones de fauna (especialmente peces y aves)
- Calibración de modelos de lluvia - escorrentía para predecir crecientes
- Interpretación de datos ecológicos en imágenes de sensores remotos
- Sucesión ecológica y comunidades vegetales
- Técnicas constructivas para líneas de transmisión que minimicen la pérdida de cobertura vegetal
- Aspectos culturales de convivencia con riesgos de inundación
- Análisis histórico de conflictos regionales y sus actores, en relación con uso de recursos naturales
- Dinámica económica micro-regional y local y su respuesta a grandes proyectos de infraestructura

Subsector petrolero

- Inventarios biológicos en áreas ambientales sensibles
- Evaluación de rendimientos hidrológicos, disponibilidad de cuencas y fragmentación de hábitats frente a procesos de erosión del suelo
- Fitosociología en ecosistemas a intervenir por la industria petrolera
- Análisis de geoformas
- Microbiología de suelos y compuestos orgánicos. Metodologías para la biodegradación de compuestos orgánicos
- Biotecnología ambiental para tratamiento de aguas residuales (microorganismos biodegradadores)
- Investigación sobre catalizadores para procesos de refinación
- Investigación de insumos y materias primas utilizadas en procesos de refinación y petroquímica

- Estudios sobre ordenamiento del territorio local
- Estudios sobre la dinámica económica local
- Valoración de bases socio-culturales locales

Subsector carbonífero

- Caracterización y dinámica de suelos en cuencas carboníferas
- Procesos de combustión de carbón en plantas térmicas e industriales
- Tecnologías limpias para el procesamiento de carbones (lavado de carbones, producción de briquetas)
- Dinámica ecológica y socio-cultural del paisaje en áreas mineras de cielo abierto
- Caracterización hidrobiológica de cuerpos de agua expuestos a lixiviados mineros
- Caracterización de maderas, mercados y tecnologías, que se usan en el entibado de minas

Disciplinas científicas identificadas como las más relevantes en la generación de conocimiento básico útil en términos de gestión ambiental en el sector energético (Tabla 2):

- Hidrología
- Climatología
- Ecología
- Biología de la Conservación
- Agrología
- Economía Ambiental

4.2. Temas Prioritarios - Investigación Aplicada

Según resultados del diligenciamiento por parte de expertos subsectoriales de diagramas de flujo impacto-gestión-conocimiento (Tablas 4,5 y 6)

Subsector carbonífero

- Modelación del relieve e intrusión del nuevo elemento paisajístico (botaderos de estéril)
- Desarrollo de software para simulaciones de paisaje
- Evaluación de sistemas de lixiviados.
 - Físico - químicos
 - Biológicos

- Identificación de bioindicadores de calidad de aguas para evaluación del impacto (acidificación)
- Determinación de la eficiencia de diferentes sistemas para el control de impacto
- Evaluación económica para la instalación de las plantas inmunizadoras en las cuencas carboníferas
- Análisis de mercados para madera inmunizada
- Estudio del comportamiento de nuevas estructuras (laboratorio)
- Definición de metodologías de monitoreo al desempeño de las estructuras
- Desarrollo de diferentes sistemas de tratamientos para control de erosión y recuperación de suelos
- Metodologías de monitoreo a procesos erosivos
- Pruebas de combustión para determinar eficiencia
- Criterios de diseño para equipos de combustión
- Evaluación de métodos preventivos (precombustión)
- Evaluación de métodos postcombustión
- Combustión en lecho fluidizado
- Evaluación de procesos de transformación aplicables a la industria
- Indicadores técnicos y económicos de la reconversión de plantas de coque
- Evaluación de los procesos de limpieza de carbones
- Estudios de factibilidad para montaje de plantas de briquetas de carbón

Subsector eléctrico

- Metodologías de campo para reconocimiento e identificación de conflictos y actores
- Técnicas de negociación Estado - Comunidad
- Efecto de reglas de operación sobre: navegación, migraciones de peces, ecología acuática, nivel de aguas subterráneas, productividad agrícola
- Desarrollo de sistemas de monitoreo, predicción y alerta ante inundaciones
- Pruebas sobre metodologías de selección de ruta
- Seguimiento de sistemas constructivos in situ
- Evaluación de sistemas de revegetalización por zonas ecológicas
- Seguimiento y marcaje de subidas

- Seguimiento y marcaje de migraciones de aves
- Pruebas de estructuras de ascenso (peces)
- Pruebas de estructuras preventivas (aves)
- Seguimiento a la economía regional en la zona de un proyecto durante construcción
- Seguimiento a las medidas de control económico en iguales circunstancias

Subsector petrolero

- Evaluación de desempeño a gran escala
- Tiempos realizables de mejoramiento en la calidad
- Evaluación práctica de toxicidad
- Pilotos de capacidad para determinar uso
- Valoración de la pérdida de la capacidad por erosión
- Casos pilotos de control de rendimientos
- Estudios comparativos, costos operación helitransportable
- Procesos de Recuperación de ecosistemas afectados
- Biodegradación de suelos contaminados
- Manejo de residuos contaminados
- Priorización en las necesidades de inversión regional vs disponibilidad de recursos futuros (corto, mediano, largo plazo)
- Proyección de inversión vs el agotamiento del recurso de petróleo en el largo plazo
- Tratamiento de residuos de perforación
- Restauración de sitios abandonados
- Criterios de selección de vías y rutas de penetración
- Recuperación de cobertura vegetal
- Control de erosión en pendientes pronunciadas combinando biomanto y obras civiles
- Adaptabilidad de especies foráneas y gramíneas
- Estudios de modelos de dispersión de contaminantes
- Evaluación de generación de contaminantes con nuevos insumos en procesos de refinación
- Sistemas biológicos de tratamientos de aguas residuales
- Evaluación de sistemas de biodegradación
- Evaluación de sistemas de separación en la fuente de residuos

- Evaluación de nuevas tecnologías para procesos industriales
- Evaluación de programas de reciclaje, reusos y revitalización de residuos
- Evaluación de instrumentos económicos en otros países para promover producción limpia

4.3. El Papel de la Investigación Científica en el Desarrollo y Fortalecimiento de la Gestión Ambiental

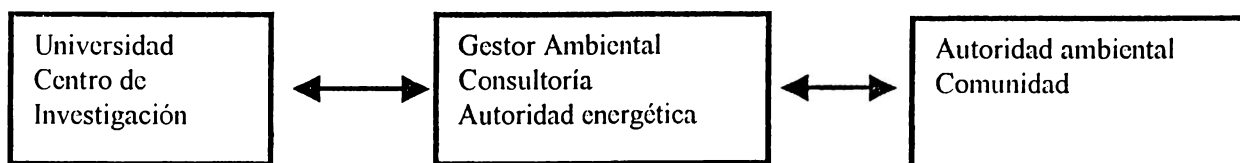
La normatividad colombiana actual en materia ambiental establece lineamientos claros respecto a la gestión ambiental de los proyectos de desarrollo, entre ellos los energéticos, por parte de los gestores, es decir aquellas entidades interesadas en adelantar los proyectos, quienes, a su vez, requieren el apoyo de consultoría especializada en temas ambientales que realiza los estudios, diseña la gestión ambiental y acompaña y asesora su implementación.

El cumplimiento de las normas, pero sobre todo la necesidad de acentuar la competitividad del sector

energético de manera consecuente con la política ambiental colombiana, exigen el impulso de procesos de investigación y desarrollo (I&D) y de mecanismos de flujo de información en ciencia y tecnología.

Se pueden señalar dos direcciones básicas de flujo de información, a partir de los gestores: a) la primera de ellas, la dirección de aguas arriba del proceso ('upstream'), en la que se inscriben principalmente las universidades y centros de investigación, con su capacidad de conceptualización de problemas y de propuesta de alternativas de solución; b) la segunda, la dirección hacia aguas abajo ('downstream') en la cual aparecen las autoridades ambientales, encargadas del proceso de licenciamiento ambiental de los proyectos y de la supervisión, monitoría y auditoría de la implementación de los planes y programas de gestión ambiental propuestos. Igualmente al lado de las autoridades ambientales se ubica la comunidad, como destinataria de los programas, en particular de los de alto contenido social y como realidad última que da sentido a todo el conjunto.

Se configura entonces un esquema básico:



que si bien conceptualmente no agota las interrelaciones posibles, -dado que no contempla las posibilidades de influencia de la comunidad sobre la investigación, o por citar otro caso, ignora el hecho de que las autoridades ambientales fijan los términos de referencia de los estudios ambientales- nos sirve como eje ordenador del flujo de información de tipo científico en el proceso de gestión ambiental en proyectos energéticos.

Para cada una de las instancias involucradas puede en consecuencia elaborarse una descripción de su papel dentro de este flujo. Las universidades y centros de investigación están llamadas a producir conocimiento, tomando en especial consideración las necesidades de las instancias que los siguen en el ciclo, participando en los lineamientos de tipo estratégico que dictan las

autoridades energéticas, brindando actualización tanto a gestores como a consultores en temas del saber académico, estudiando a profundidad la viabilidad de las medidas reglamentarias que las autoridades ambientales promulgan y palpando permanentemente la realidad de las comunidades en cuanto a su percepción de la calidad de vida en aspectos ambientales.

Los gestores ambientales, por su parte deben tener la capacidad -solos o en compañía de la consultoría- de traducir sus necesidades de gestión en problemas desarrollables por las universidades y centros de investigación y deben también destinar los recursos financieros y humanos necesarios para tal tarea. En la dirección de aguas abajo, los gestores deben garantizar un alto contenido científico en sus propuestas de

planes y programas de manejo ambiental y a su vez exigirle a las autoridades ambientales ese mismo grado de rigor en los controles efectuados por ellas. Con las entidades que están en su misma instancia dentro del flujo de información, los gestores deben desarrollar mecanismos de intercambio de información y de capacidades, para estar permanentemente enterados de las reales posibilidades de gestión ambiental.

La consultoría está llamada a desempeñar un papel primordial al servir de unión entre las necesidades de conocimiento científico para la gestión y la oferta de capacidades investigativas por parte de las universidades y centros de investigación. Para resultar eficientes y competitivos los consultores deben mantenerse enterados de las direcciones que está tomando la investigación básica y aplicada, realizar un permanente monitoreo tecnológico en cuanto a soluciones aplicables en nuestro medio y que hayan sido probadas de manera exitosa en otros países u otros contextos, así como conocer las temáticas hacia las cuales están fluyendo los recursos financieros y desarrollar la capacidad de elaborar propuestas de investigación en temas pertinentes a la consultoría para demandar recursos de las entidades que financian investigación.

Desde el otro lado, es necesario que la consultoría se relacione con los gestores, acompañándolos en la realización de los programas, planes y proyectos destinados a manejar los impactos ambientales, para que perciba, en el terreno mismo, las dificultades de tipo práctico que se presentan en el momento de la implementación; con las autoridades ambientales, en el seguimiento de las Licencias y Permisos Ambientales y de los Planes de Manejo que se desprenden de ellos, para que confronten permanentemente de manera conjunta, la pertinencia de la reglamentación ambiental con la realidad plural y compleja donde esta debe ser aplicada; con las comunidades afectadas por el desarrollo de proyectos, para que pueda involucrar en los diseños que la consultoría propone, las consideraciones pertinentes a la participación de esas comunidades en el proceso de la gestión ambiental.

Las autoridades energéticas deben de un lado, realizar un continuo monitoreo tecnológico y científico, para detectar las tendencias a ser tenidas en cuenta en la formulación de lineamientos estratégicos y regulaciones intrasectoriales y del otro establecer canales claros de discusión y consideración de temas

científicos y tecnológicos con las autoridades ambientales, para lograr la armonización de su actuar con la reglamentación ambiental.

Por último las autoridades ambientales deben realizar monitoreo científico-tecnológico para saber los límites de lo factible en términos de exigencias de tipo ambiental, establecer canales claros con gestores, consultores y autoridades energéticas, para conocer el real estado de avance tecnológico del sector energético en el país y por consiguiente saber hacia donde dirigir sus esfuerzos de reconversión. En su misma instancia, las autoridades ambientales deben estar en permanente contacto con la comunidad, tanto en el nivel general, lo que pudiéramos llamar la opinión pública, como en el nivel de las comunidades particulares, afectadas por desarrollos energéticos específicos, para poder reflejar ese conocimiento en la normatividad ambiental.

Finalmente, con respecto a la comunidad, es clara la necesidad de contar con voceros comunitarios informados, sensibles a las realidades ambientales y con formación en el tema, cuanto más científicamente fundada, mejor.

5. RECOMENDACIONES

5.1. A las Universidades y Centros de Investigación

- Considerar, a la hora de definir las áreas del conocimiento que serán estratégicas tanto en la realización de investigación como en la formación de investigadores y en el reforzamiento de la capacidad investigativa, la prioridad que para el sector energético del país tiene el área de la gestión ambiental en proyectos energéticos.
- Tener presentes, a la hora de definir sus programas de investigación tanto básica como aplicada, las temáticas señaladas en este trabajo, por su alta pertinencia para la gestión ambiental del sector energético, particularmente, los temas señalados en los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*.
- Considerar, a la hora de definir prioridades para la formulación de programas académicos, la necesidad que tiene el país de programas de alta calidad en el campo de la gestión ambiental, en particular en el sector energético.

- Abrir la posibilidad de conformar grupos de análisis permanente, con participación de las entidades gestoras en lo energético, con la consultoría ambiental y con las autoridades ambientales y energéticas, en los que se discuta de manera periódica el avance de las investigaciones en curso y la necesidad de moverse hacia temas no explorados, a la luz de las necesidades que se presentan en la cadena de gestión.
- Diseñar mecanismos de tipo administrativo que permitan una fácil y rápida incorporación de científicos y profesionales vinculados a la universidad, a trabajos de asesoría y consultoría tanto para las autoridades ambientales y energéticas, como a las entidades gestoras de proyectos, de tal manera que se pueda contar con recomendaciones de alto nivel técnico y científico, en los términos perentorios que determina la legislación.

5.2. A las Firmas Consultoras en Temas Ambientales

- Considerar las temáticas señaladas en este trabajo, especialmente los temas señalados en los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*, como temas prioritarios tanto en la formación de su personal, como en el desarrollo de competencias a nivel corporativo.
- Reforzar el monitoreo tecnológico como un actividad que se debe desarrollar de manera permanente por cualquier firma consultora que desee estar al día en las propuestas de soluciones técnicas que ofrece a sus clientes. Se plantea aquí la posibilidad interesante de conformar redes de monitoreo tecnológico, por parte de varias firmas consultoras, para lograr cubrir entre todos, diversas temáticas dedicando cada uno algún recurso de personal.
- Impulsar la conformación de plantillas de personal fijo dedicadas a los temas ambientales, de tal manera que se pueda garantizar el aprendizaje colectivo y que no sea necesario empezar a conceptualizar desde lo básico, al aparecer una pregunta similar a alguna que previamente se trabajó.
- Evaluar la posibilidad de fortalecer el gremio de consultores ambientales de modo que, entre muchas actividades, se promueva la realización de eventos de tipo académico donde se presenten a la

comunidad técnica, a la universidad, a las autoridades y gestores, las últimas realizaciones de la consultoría, de tal manera que se logre una diseminación del conocimiento tanto hacia arriba como hacia abajo en la cadena.

5.3. A las Entidades Financiadoras de Investigación

- Considerar las temáticas señaladas en este trabajo, especialmente los temas surgidos a partir de los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*, como temas prioritarios para la financiación de investigaciones tanto básicas como aplicadas.
- Considerar las temáticas y necesidades señaladas en este trabajo, como prioridades, a la hora de financiar la formación de profesionales e investigadores en el exterior.
- Reforzar el apoyo a publicaciones de tipo científico sobre recursos naturales y gestión ambiental, arbitradas, de tal manera que los investigadores encuentren medios para difundir el resultado de sus trabajos, garantizando un alto nivel académico.
- Privilegiar, dentro de sus esquemas de financiación, las actividades de grupos mixtos conformados por las universidades, las autoridades, la consultoría y los gestores ambientales, en los que se haga monitoreo y se debatan los avances científicos útiles para la gestión ambiental del sector energético.

5.4. A los Gestores Ambientales

- Considerar las temáticas señaladas en este trabajo, especialmente los temas surgidos a partir de los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*, como temas prioritarios tanto en la formación de su personal, como en la dedicación de sus esfuerzos y recursos de apoyo a la investigación.
- Aprovechar, cuando se acuda a la contratación de investigación o consultoría de carácter internacional, para fortalecer las posibilidades nacionales de enfrentar los temas prioritarios señalados en este trabajo con retroalimentación a la comunidad científica y consultores nacionales.

- Analizar la posibilidad de adelantar procesos internos de recuperación de la memoria corporativa, en los que se rescaten y se den a conocer experiencias exitosas de manejo de impactos ambientales, en particular de aquellos señalados como prioritarios en este trabajo, de tal manera que se pueda compartir 'know how' local, con el consiguiente ahorro de recursos.
- Impulsar el monitoreo científico-tecnológico en aspectos relacionados con la gestión ambiental, como una prioridad que debe ser adecuadamente tenida en cuenta, bien sea mediante ejecución directa, bien mediante contratación con universidades o compañías consultoras.

5.5. A las Autoridades Energéticas

- Considerar las temáticas señaladas en este trabajo, especialmente los temas surgidos a partir de los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*, como temas prioritarios en la formación de su personal y en la dedicación de sus esfuerzos y recursos de apoyo a la investigación.
- Alentar la realización de investigaciones conjuntas con los gestores ambientales, las universidades y la consultoría, en temas específicos de la gestión ambiental, que permitan dilucidar puntos críticos en la relación con las autoridades ambientales. Para lograr tal efecto es necesario que dichas investigaciones no estén ligadas al otorgamiento de licencias o permisos para proyectos particulares.
- Asumir las temáticas señaladas en este trabajo como prioridades para la destinación de recursos provenientes de los fondos de investigación sectoriales o subsectoriales.
- Tener en cuenta las temáticas señaladas en este trabajo al definir los lineamientos estratégicos para la formulación de los planes de desarrollo del sector energético y de cada uno de sus subsectores.
- Participar en grupos que reúnan a los otros integrantes de la cadena de información científico-tecnológica (científicos, consultores, gestores ambientales y autoridades ambientales), en los que se puedan direccionar las investigaciones futuras, a la luz de las necesidades presentes.

5.6. A las Autoridades Ambientales

- Considerar las temáticas señaladas en este trabajo, especialmente los temas surgidos de los diagramas *impacto-gestión-conocimiento*, como temas prioritarios tanto en la formación de su personal, como en la dedicación de sus esfuerzos y recursos de apoyo a la investigación.
- Alentar la realización de investigaciones conjuntas con los gestores ambientales, las universidades y la consultoría, en temas específicos de la gestión ambiental, que no estén ligadas al otorgamiento de licencias o permisos para proyectos particulares. Estos trabajos pueden ser objeto de financiación por fondos de investigación de los subsectores.
- Participar en grupos que reúnan a los otros integrantes de la cadena de información científico-tecnológica (científicos, consultores, gestores ambientales y autoridades energéticas), de tal manera que las necesidades de la autoridad ambiental sean consideradas de manera adecuada, a la hora de definir prioridades de investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angel, E., Villegas L. C. y Carmona S.. 1995. Necesidades de investigación aplicada al tema ambiental en el sector eléctrico. Interconexión Eléctrica S.A (ISA). Ponencia presentada en la X Convención Científica Nacional, A.C.A.C., Manizales, mayo 25-27 de 1995, 15 pp.
- Chaparro, F. 1998. Conocimiento, innovación y construcción de sociedad: una agenda para la Colombia del siglo XXI -Haciendo de Colombia una sociedad del conocimiento, Colciencias, Bogotá, 75 pp. (inédito).
- COLCIENCIAS. 1993a. Ciencia contra la oscuridad. Bases para un Plan del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería. Serie Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología, COLCIENCIAS, Bogotá, 160 pp.
- COLCIENCIAS. 1993b. El entorno natural y construido del hombre colombiano. Bases para un Plan del Programa Nacional de Ciencias del Medio Ambiente y el Hábitat. Serie Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología, COLCIENCIAS, Bogotá, 263 pp.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA. 1993. Ley 99. Bogotá, 22 de diciembre de 1993. 83 pp
- Guerrero, E. 1999. La ciencia y la tecnología como insumos para la gestión ambiental del sector energético. En: Energías para un desarrollo sostenible: Ensayos sobre gestión ambiental de los recursos energéticos. Fondo FEN Colombia & Financiera Energética Nacional S.A., Bogotá, pp. 217-229.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 1997. Convenio de concertación y coordinación de acciones encaminadas a apoyar el control de la contaminación, la adopción de métodos de producción sostenible y a mejorar la gestión pública y empresarial, entre el Ministerio del Medio Ambiente y el sector eléctrico, Bogotá.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. 1994. Plan Energético Nacional (PEN). Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero - Energética (UPME), Bogotá, 338 pp.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. 1997. Plan Energético Nacional 1997-2010 – Autosuficiencia energética sostenible. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero - Energética (UPME), Bogotá, 127 pp.
- PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA - COLCIENCIAS. 1995. Colombia: Al filo de la oportunidad. Misión Ciencia, Educación y Desarrollo, Colección Documentos de la Misión, tomo I, COLCIENCIAS, Tercer Mundo Editores, Bogotá, 241 pp.

