

PROANTIOQUIA
CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ANTIOQUIA

**UN PROGRAMA PARA EL APOYO DEL
DOCTORADO EN INGENIERIA
EN ANTIOQUIA**

Informe Final

Medellín, julio de 1998

PRESENTACION

Con el ánimo de promover el fortalecimiento de la investigación en ingeniería en Antioquia y el país, Proantioquia y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia presentaron durante 1997 la iniciativa de llevar a cabo en la región programas doctorales en ingeniería que fuesen el resultado de la cooperación entre las universidades y se ocupasen de temas estratégicos para el desarrollo tecnológico e industrial del departamento.

Es bien conocida la tradición de ingeniería entre nosotros, en especial por las significativas contribuciones de la antigua Escuela de Minas durante la primera mitad del siglo. Hoy en día se ha diversificado bastante la oferta de programas de ingeniería en las universidades antioqueñas, con inclusión de un buen número de programas de posgrado en los campos de la Especialización y la Maestría. Sin embargo, las actividades doctorales han tenido un desarrollo modesto, al punto que en la actualidad sólo existe un programa de este nivel académico, el correspondiente a Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional.

Los nuevos escenarios de competencia y globalización exigen a las empresas productos y servicios de gran calidad, originados en la innovación, el mejoramiento tecnológico y un significativo valor agregado en conocimientos. La investigación de alto nivel, en especial aquella que se realiza en el campo de la ingeniería, es vital para garantizar la supervivencia y el éxito de las empresas en un entorno cada vez más exigente.

Los programas doctorales constituyen un medio excelente para formar investigadores y grupos de investigación estables. Si además se logra una interacción de la academia con el medio industrial en lo tocante a la definición de proyectos y líneas de investigación, estos grupos pueden convertirse en agentes dinámicos para el desarrollo industrial de la región, en especial si también se cuenta con el estímulo del gobierno.

El propósito central es formar investigadores de alto nivel en ingeniería, que se constituyan en líderes del desarrollo industrial y del avance académico, pero que ante todo sean ciudadanos cultos, capaces de orientar a sus comunidades y comprometidos con el destino de Antioquia y el país.

La iniciativa mencionada tuvo una acogida favorable en medios académicos y empresariales, lo cual llevó a Proantioquia y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia a emprender un estudio sobre la viabilidad de llevar a la práctica la propuesta. Con el apoyo decidido de académicos y empresarios, y contando con la colaboración y orientación de diferentes entidades estatales, se realizó entre los meses de febrero y julio de 1998 el estudio cuyo informe final entregamos hoy a la comunidad antioqueña.

Esperamos que el resultado de este trabajo, así como los acuerdos preliminares a que se llegó durante la realización del mismo, sean un punto de partida para adelantar las actividades de largo plazo que aquí se proponen.

Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a las numerosas entidades y personas que con sus opiniones, observaciones, información, respuesta a la encuesta y participación en las entrevistas permitieron culminar el presente trabajo. El interés y el clima de colaboración que en diferentes ámbitos encontró la realización del estudio, así como las manifestaciones expresas de cooperación que surgieron entre los diversos actores, permiten albergar optimismo sobre el futuro de la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería.

En particular, manifestamos nuestro reconocimiento a los miembros de un Comité Consultivo que se designó para asesorar la realización del estudio. Hicieron parte del mismo, a título personal, los doctores Guillermo Arango Rave, Luis Fernando Múnera, José Eugenio Muñoz, Juan Camilo Ochoa, William Rojas M. e Iván Villegas Mejía.

Mención especial merece el doctor Sergio Fajardo V., anterior Director del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, quien fue el autor de la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería, impulsó la misma y colaboró en la orientación del trabajo posterior.

Finalmente, destacamos la vinculación del Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior a las gestiones preliminares sobre cooperación internacional, mediante una ayuda financiera parcial.

El estudio fue coordinado por el ingeniero Darío Valencia Restrepo, quien también fue responsable de la redacción del presente informe. Las dos entidades a nuestro cargo brindaron toda la colaboración posible para la feliz culminación de las tareas a él encomendadas.

J. Mario Aristizábal
Presidente de Proantioquia

Rafael Aubad
Director del Centro de Ciencia y
Tecnología de Antioquia

Medellín, julio de 1998

CONTENIDO

	Página
PRESENTACION	iii
1 Resumen y conclusiones	1
2 Antecedentes y justificación	5
Antioquia y la globalización	
Algunas citas pertinentes	
Situación de la ingeniería	
Los posgrados en América Latina	
La propuesta	
3 Plan de trabajo	11
4 Encuesta sobre áreas y subáreas estratégicas	13
5 Consulta con entidades nacionales	15
6 Demandas y ofertas de investigación	17
Necesidades de investigación	
Oferta de servicios de investigación	
Resultado de la interacción entre demandas y ofertas	
7 Areas y líneas de investigación propuestas	19
8 Mecanismos de cooperación regional	25
Entidad de coordinación general	
Comités de concertación	
Los ritmos y la colaboración Industria-Universidad	
Cooperación entre las universidades	
Los nodos de área	
9 Instrumentos de apoyo existentes en la región	31
El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, y la Regionalización	
Centros de desarrollo tecnológico	
Sistema Regional de Innovación de Antioquia	
Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia	
Parque Tecnológico de Antioquia	
Centro Nacional de Producción Más Limpia	

./.

10 Alianzas internacionales	35
Visita al Instituto Tecnológico de Massachusetts	
Las telecomunicaciones	
Otros contactos	
Proyecto del MIT – Harvard Club de Colombia	
11 Esbozo curricular	39
12 Financiación	43
Fondo regional	
Empréstito	
Fuentes existentes	
13 Año de la Ingeniería	47
Resultados deseables	
Actividades del Año	
REFERENCIAS	50

ANEXOS

A. Presentación de la iniciativa	55
B. Convocatoria a los antioqueños	61
C. Texto del plan de trabajo	65
D. Encuesta sobre áreas y subáreas	75
E. Informe sobre resultados de la encuesta	83
F. Convenio entre los participantes	91

LISTA DE CUADROS

Áreas y subáreas favorecidas en la encuesta	14
Áreas y líneas de investigación	22
Grupos de investigación, centros de desarrollo tecnológico y programas de posgrado en las áreas:	
AGUA Y AMBIENTE	23
INDUSTRIA	23
ENERGIA	24
INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES	24

1

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente informe describe los resultados de las principales tareas efectuadas durante la realización del estudio sobre la factibilidad y las condiciones para llevar a cabo programas doctorales en ingeniería, mediante la cooperación entre universidades antioqueñas y la interacción con el sector productivo de la región, tanto privado como público.

Inicialmente, se efectuó una encuesta entre diferentes entidades y personas con el fin de definir áreas y subáreas estratégicas para el desarrollo del departamento. Aparecieron favorecidas las áreas Agua, Ambiente, Industria, Energía, Gerencia e Informática, con las subáreas que se indican en el capítulo 4.

Con posterioridad se efectuaron numerosas entrevistas individuales con entidades que demandan investigación específica en las mencionadas áreas, y al mismo tiempo se evaluaron, con base en información suministrada por Colciencias, las fortalezas de centros y grupos de investigación, al igual que centros de desarrollo tecnológico, asentados en Antioquia. Con base en el cruce entre demandas y ofertas, se propusieron entonces, como base para un consenso inicial de referencia que permitiese empezar el trabajo, las áreas de investigación Agua y Ambiente, Industria, Energía, e Informática y Telecomunicaciones, cada una de las cuales con varias líneas de investigación asociadas, tal como se muestra en los cuadros del capítulo 7.

Dada la importancia atribuída al área Gerencia, se recomienda que el currículo de los programas doctorales contenga un conjunto de asignaturas y seminarios relacionados con aspectos gerenciales, tal como se indica en el capítulo 11, el cual contiene además unas consideraciones generales sobre el currículo de un programa de tan alta exigencia como lo es el de Doctorado.

Los capítulos 8 y 10 presentan, respectivamente, algunos mecanismos de cooperación entre los diversos actores (universidades entre sí, universidades con empresas, universidades-empresas-gobierno), y la buena disposición que existe para la cooperación internacional entre algunas entidades del exterior, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts. De particular importancia es lo relativo al establecimiento de nodos de coordinación, información y actividades conjuntas, tal como se explica en el primero de los capítulos indicados.

En atención a que ya existen instrumentos de concertación y cooperación científico tecnológica en Antioquia, en el capítulo 9 se describen en forma breve aquellos que podrían servir de apoyo a la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería.

En el capítulo 12 se hacen diferentes sugerencias relacionadas con la financiación, un aspecto crítico para el éxito de la iniciativa, pues la envergadura de las actividades propuestas requiere un significativo volumen de nuevos recursos.

Los resultados principales del estudio fueron presentados a directivas universitarias y a dirigentes empresariales, con el fin de promover consensos y acuerdos preliminares. Con respecto a las universidades, se sugirió asignar a cada una de las áreas de investigación una universidad coordinadora, en los términos que se describen en el capítulo 8.

Los acuerdos preliminares alcanzados incluyen la realización de un Año de la Ingeniería, el cual serviría para poner a prueba los mecanismos de cooperación, precisar el contenido y alcance de las líneas de investigación, evaluar las necesidades de capacitación y afirmar los compromisos de largo plazo entre los diferentes actores convocados: universidades, empresas y gobierno. Las características de dicho Año se muestran en el capítulo 13.

Se suscribió un convenio entre Proantioquia, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, y los rectores universitarios, cuyo texto completo se incluye en el anexo F. Por medio de ese instrumento se acordó apoyar el desarrollo y fortalecimiento de los programas de Doctorado en Ingeniería que sean el resultado de la cooperación y uso conjunto de recursos entre las universidades firmantes, y que se ocupen de temas estratégicos para el desarrollo tecnológico e industrial de la región, para lo cual se concertará e interactuará con el sector productivo, tanto público como privado, y se recabará la participación del gobierno.

Los compromisos específicos adquiridos son los siguientes:

- a) Programar y llevar a cabo lo que se denominará el Año de la Ingeniería, un período previo al trabajo doctoral y durante el cual se propiciará el acercamiento entre los sectores empresariales, académicos y gubernamentales mediante un trabajo conjunto y concertado de proyectos, seminarios y cursos que pongan a prueba mecanismos de concertación y cooperación, que precisen contenido, alcance, responsabilidades y cronogramas para las actividades futuras relacionadas con los programas doctorales en ingeniería, y que establezcan necesidades y requerimientos financieros para llevar a cabo los mismos;
- b) Reconocer a la Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia como la entidad encargada para coordinar lo relacionado con el planeamiento y puesta en marcha del dicho Año, de modo que esa Corporación defina los instrumentos de concertación y consenso para la realización del mismo;

- c) Aceptar como marco de referencia inicial para las actividades, tanto del Año de la Ingeniería como de los programas doctorales, las áreas y líneas de investigación definidas como resultado del estudio sobre la viabilidad de los Doctorados en Ingeniería auspiciado por Proantioquia y la Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia;
- d) Colaborar en las gestiones que sean del caso para obtener recursos financieros que permitan efectuar el Año de la Ingeniería e iniciar las tareas relacionadas con la puesta en marcha de los programas doctorales, o de Maestría que conduzcan con posterioridad a programas doctorales;
- e) Colaborar en las gestiones para financiar la formación de doctores en ingeniería en cada una de las cuatro áreas señaladas por el cuadro antes indicado, a razón de dos por área como meta inmediata;
- f) Propiciar la cooperación internacional, para lo cual se explorará la vinculación de universidades, centros de investigación y entidades de prestigio internacional, la venida de expertos y la repatriación de colombianos; y
- g) Gestionar la presencia de Doctores que trabajen tanto en la universidad como en las empresas del sector productivo.

Finalmente, las universidades acordaron designar a las siguientes instituciones como coordinadoras de las áreas de investigación propuestas en el capítulo 7:

Agua y Ambiente: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Industria: Universidad de Antioquia

Energía: Universidad Pontificia Bolivariana

Informática y Telecomunicaciones: Universidad EAFIT

El ambiente es muy propicio para la cooperación de largo plazo entre las universidades y la de éstas con el sector productivo, tanto público como privado. Se ha encontrado también un clima de apoyo en diferentes agencias estatales. Todo ello augura un futuro favorable a la iniciativa.

2

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

En marzo del pasado año, Proantioquia y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia propusieron a diversas entidades académicas, empresariales, gubernamentales y cívicas que considerasen la posibilidad de unir esfuerzos para apoyar actividades conducentes al otorgamiento del título de Doctor en Ingeniería en Antioquia. Así mismo, la opinión pública conoció generalidades de la sugerencia gracias a un artículo publicado por el doctor Sergio Fajardo V. en uno de los periódicos locales, y cuyo texto completo aparece en el anexo A.

La propuesta se enmarcaba dentro de las estrategias de ciencia y tecnología para Antioquia que ha venido promoviendo el Centro ya señalado, y que tienen como objeto principal convertir la ciencia y la tecnología en elementos centrales del desarrollo antioqueño.

La mencionada iniciativa generó algunas reacciones positivas expresadas en diferentes reuniones programadas, y también en algunos documentos de entidades que respondieron a la misma. Ello puso de presente el interés que despertaba la idea, lo cual llevó a las dos instituciones antes mencionadas a considerar la realización de un estudio sobre la viabilidad de la misma, estudio que sería realizado mediante el plan de trabajo que se discutirá en el capítulo 3.

Cuando apenas se iniciaba el estudio ya señalado, Proantioquia y el Centro hicieron una convocatoria pública para promover el respaldo a la iniciativa, mediante un documento que apareció publicado en los periódicos locales y cuyo texto se incluye en el anexo B.

Antioquia y la globalización

Cualquier visión prospectiva de Antioquia debe asignar un papel preponderante a la ciencia y la tecnología en el desarrollo del departamento. El mundo avanza hacia sociedades basadas en el conocimiento y la globalización, cuyo crecimiento y bienestar tiene estrecha relación con su capacidad de competir en escenarios internacionales dominados por los procesos de creatividad e innovación en los ámbitos industrial y de servicios.

De acuerdo con su vocación y destino, cada país o región debe escoger unas áreas en las cuales, mediante la investigación y el desarrollo de productos y servicios, pueda concentrar esfuerzos y recursos para obtener ventajas comparativas que le permitan competir en esos nuevos escenarios.

La inserción en mercados cada vez más interconectados y especializados, exige la adquisición de conocimientos y su aplicación al desarrollo productivo. Para ello es indispensable contar con grupos propios de investigación con la más alta calidad, que sean el resultado de la interacción entre sectores académicos y empresariales, que tengan apoyo gubernamental, y que posean la capacidad de interlocución con pares internacionales.

La alianza Industria-Academia-Gobierno ha sido históricamente un poderoso motor para impulsar el desarrollo científico y tecnológico de los países y posee hoy más vigencia que nunca. Entre nosotros existen ejemplos de cooperación al respecto, pero en una escala modesta comparada con las exigencias de los nuevos paradigmas del mundo.

La industria colombiana requiere con urgencia desarrollar o fortalecer sus propias capacidades de investigación. El planteamiento correcto de problemas pertinentes en el medio industrial exige la participación activa de personas con amplio conocimiento de la actividad empresarial. Aún si las necesidades de investigación se contratan por fuera de la empresa, ésta debe poseer personal con capacidad de interlocución con los expertos de fuera de ella.

El desarrollo tecnológico no ha recibido en el medio industrial la atención que se ha brindado a los temas del mercadeo y a las diversas teorías y técnicas de la administración. Si a todo lo anterior se suma el desplazamiento de personal y capitales al sector de los servicios, bien puede entenderse la pérdida de participación de la industria en la economía nacional y regional.

Algunas citas pertinentes

Un reciente informe sobre la industria manufacturera [Corpes de Occidente, 1996] señala la importancia de construir una capacidad tecnológica en el propio seno del sector productivo, al mismo tiempo que pone de presente una diferencia crucial entre los países como Colombia y los países desarrollados: en éstos, de cada diez investigadores, ocho trabajan en la industria; la mitad de la inversión en ciencia y tecnología corre por cuenta del sector productivo; y alrededor del 80% de toda la inversión es ejecutada por este último, lo cual implica que una porción importante de los recursos aportados por el sector público se gasta en la industria.

El presidente de la Asociación Nacional de Industriales, Luis Carlos Villegas, advirtió [Periódico El Colombiano, 1998a] en el estudio “La industria colombiana: vital, a pesar del ambiente hostil” que en el marco competitivo moderno es poco probable que la actual industria colombiana genere suficiente empleo, y que las posibilidades de creación relacionadas con la manufactura están más asociadas a las industrias que se constituyan en el futuro.

Luis Jorge Garay, consultor del Banco Interamericano de Desarrollo, considera que la capacitación del recurso humano es uno de los mayores obstáculos para nuestro desarrollo industrial [Periódico El Colombiano, 1998b]. Así aparece en su estudio sobre la parálisis del proceso de industrialización en Colombia a partir de 1990.

Finalmente, el actual presidente electo de la república, Andrés Pastrana, en respuesta a un cuestionario [Revista Semana, 1998] que le fuera formulado durante la campaña, escribió: “La modernización de la economía colombiana les ofrecerá cada vez más empleos a profesionales de alta calidad y a ingenieros investigadores que aseguren el desarrollo tecnológico de las empresas”.

Situación de la ingeniería

De otro lado, existe inquietud en Colombia por la pérdida de presencia de la ingeniería en el desarrollo nacional. Si a lo anterior se suma la preocupación internacional y nacional por los cambios y adaptaciones que deben experimentar la enseñanza y la práctica de dicha profesión, es fácil colegir la importancia de programas que propendan por la elevación del nivel docente e investigativo de la ingeniería y por su articulación con los problemas del desarrollo industrial del país.

La preocupación mundial por la educación de un nuevo ingeniero se manifiesta en una serie de documentos que se detallan en “Referencias” del presente informe [Conferencia mundial sobre educación en ingeniería, 1995; Conferencia mundial sobre educación en ingeniería y líderes de la industria, 1996; Vest, 1997; Denning, 1992]. La creciente importancia de la función social de los ingenieros es puesta de presente por la National Science Foundation de los Estados Unidos [NSF, 1998].

Un expreso interés en Colombia por la reorientación de los programas de ingeniería lo constituye la serie de estudios sobre actualización y modernización de los currículos en varias carreras de ingeniería, emprendida por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) conjuntamente con el Instituto para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), y que cubre los programas de civil, mecánica, eléctrica y electrónica, sistemas, industrial y química [ACOFI-ICFES, 1996a,b,c,d,e; ACOFI-ICFES, 1997].

Para efectos del presente informe, es del caso destacar la frecuente atención que los estudios mencionados brindan a la cuestión del acercamiento entre la universidad y la industria, al desarrollo tecnológico y a la investigación. Con respecto a esto último, varios de los estudios se refieren a la importancia de fortalecer los programas de posgrado.

En el país empieza ya aceptarse que la investigación debe ser el eje del trabajo universitario, pero no a costa de la docencia y la extensión, sino al contrario, para enriquecerlas. El medio natural para el desarrollo y fortalecimiento de la investigación lo constituye el posgrado, entendido además como una instancia ligada al pregrado, responsable de mejorarlo y de llevar a él el trabajo investigativo.

Cabe preguntarse hasta qué punto la ausencia de investigadores del más serio nivel, de ingenieros con una sólida formación intelectual y ética, de maestros con las más altas calificaciones académicas, están haciendo falta para orientar la actividad ingenieril en las universidades.

Los posgrados en América Latina

En un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo sobre la educación en América Latina y el Caribe en el contexto del Desarrollo Humano Sostenible [PNUD, 1998], aparecen unos datos desalentadores sobre la actividad de posgrado en la región. Aunque en 1994 existían 8.615 programas en América Latina, un 31% de los mismos pertenecía a la modalidad de Especialización, esto es de “educación continuada” para el trabajo y no de entrenamiento para la investigación; otro 51% correspondía a Maestrías, de contenido diverso y calidad desigual, muchas de las cuales tienen poca relación con la actividad investigativa; y de los 22.904 estudiantes de Doctorado, el 71% se encontraba en Brasil, el 10% en México, el 9% (2.055 estudiantes) en Argentina, 922 en Perú, 829 en Venezuela, 267 en Cuba, 122 en Uruguay, sólo 76 en Colombia y ninguno en los países restantes.

Continúa el informe señalando que la mayor parte de los programas de Doctorado surgió de iniciativas puntuales de alguna universidad, de una personalidad del mundo científico o de un grupo destacado de investigación. La excepción es Brasil, donde sucesivos gobiernos definieron ésta como una prioridad nacional, pero aún en este país el desarrollo de los programas doctorales es bastante desigual.

Los anteriores datos deberían encender varias señales de alarma en Colombia. Es muy modesto el avance de los Doctorados, aún si el mismo se compara con el de países de similar desarrollo económico y social; como los programas de Especialización y Maestría no están formando los investigadores de alto nivel que requiere la sociedad nacional, se abre un panorama importante para el trabajo doctoral; es imperativo que por ningún motivo esta modalidad académica se desvalorice, tal como ha ocurrido con muchas actividades de posgrado; y, finalmente, se debe evitar la creación de programas doctorales que no obedezcan a finalidades o prioridades claras y explícitas.

La propuesta

Un medio para fortalecer o favorecer el surgimiento de grupos de investigación se basa en el apoyo a las actividades de posgrado en la academia que estén centradas en la investigación y que tengan relación con áreas estratégicas seleccionadas. Estas actividades alcanzan su expresión de excelencia en el doctorado, hacia el cual se propone encaminar los esfuerzos de concertación y apoyo. Pero es necesario señalar que también los programas de especialización y maestría merecen atención en este contexto, pues con frecuencia son pasos necesarios y previos a la creación de los doctorados.

La iniciativa ha escogido el Doctorado en Ingeniería porque esta profesión se ha constituido históricamente en un eficaz puente entre la ciencia y la tecnología. Así como el mundo avanza hacia un nuevo paradigma en los campos industrial y de servicios, la ingeniería se mueve también hacia un nuevo paradigma consecuente con el anterior: los nuevos profesionales tendrán que ver cada vez más con el trabajo interdisciplinario exigido por la solución de problemas de complejidad creciente, y deberán apuntar a una relación más estrecha con los nuevos empresarios que demanda la sociedad.

La creación en el medio regional de programas doctorales del más alto nivel en ingeniería no es ninguna utopía. En efecto, desde 1992 funciona en la Facultad de Minas el Doctorado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, primer programa de este nivel que en el campo de la ingeniería se ofreció en el país, y hoy considerado como ejemplo para programas similares.

En el país existe, además, el programa de Doctorado en Ingeniería Química, a cargo de la Universidad Industrial de Santander, y a comienzos de 1998 la Comisión Nacional de Doctorados y Maestrías recomendó ante el Consejo Nacional de Educación Superior – CESU- la aprobación del Doctorado en Ingeniería en la Universidad del Valle, con énfasis inicial en ingeniería eléctrica, electrónica y ciencias de la computación.

Finalmente, se menciona el proyecto actualmente en estudio para realizar conjuntamente entre varias universidades del país un Doctorado en Ciencias Ambientales. Participan en el grupo de trabajo correspondiente profesores de las universidades Pontificia Javeriana, Industrial de Santander, de Antioquia, Nacional y de Medellín, amén de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Por su relación con la iniciativa del Doctorado en Ingeniería propuesto en Antioquia, es del caso establecer una coordinación entre aquel proyecto y esta iniciativa.

Se sabe que no es tarea fácil reunir los profesores, iniciar o fortalecer las líneas de investigación y obtener los elementos materiales indispensables para desarrollar programas de tan alta exigencia. En razón de ello, se propone en el presente informe un camino de cooperación, una sinergia en el uso de recursos escasos y una cierta división del trabajo.

Históricamente, la formación de doctores en ingeniería se ha hecho en universidades del exterior. No puede desconocerse la buena calidad de la formación que, por lo general, han recibido los graduados colombianos, ni tampoco el enriquecimiento que significa el contacto con culturas diferentes y el aprendizaje de una segunda lengua. No obstante, es bien difícil que el estudiante de doctorado pueda tener la oportunidad de trabajar en temas que él considere de interés para su país; allá deberá ocuparse de aquellas investigaciones y proyectos que su profesor director de tesis haya financiado con entidades públicas o privadas. Un doctorado en Colombia puede formular preguntas pertinentes para el medio y tratar de responderlas. Por supuesto que un estudio adicional está a la orden del día: elaborar una comparación completa de costos económicos y sociales entre las dos alternativas.

Diversos sectores y fuerzas sociales del departamento de Antioquia han venido proponiendo desde hace algunos años, y con particular énfasis durante el pasado año, visiones prospectivas de la región que permitan aunar voluntades y generar proyectos que se constituyan en auténticos propósitos para toda la comunidad. También se han venido dando pasos específicos relacionados con la innovación, la calidad, el desarrollo de centros tecnológicos y corporaciones de investigación, la incubación de empresas y la constitución de un parque tecnológico. Existe, pues, una coyuntura favorable para iniciativas como la considerada en este documento y relacionada con la dimensión científico tecnológica de dichas visiones prospectivas. Lo aquí consignado es una propuesta concreta para iniciar de inmediato una de las diferentes marchas que con sentido de futuro requiere emprender la comunidad antioqueña.

3

PLAN DE TRABAJO

El ambiente favorable que encontró en el medio regional la propuesta sobre Doctorados en Ingeniería llevó a Proantioquia y el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia a solicitar, hacia fines del año 1997, al ingeniero Darío Valencia Restrepo la presentación de un plan de trabajo que permitiese adelantar un estudio sobre la viabilidad de la iniciativa.

En el estudio se trataría de establecer áreas y subáreas estratégicas para el desarrollo de la región, proponer mecanismos de cooperación entre las universidades y entre éstas y el sector productivo, recabar el apoyo gubernamental, explorar las posibilidades de efectuar alianzas internacionales, elaborar un esbozo curricular de los programas doctorales y analizar las posibilidades de financiación para diferentes rubros, en especial el relacionado con la capacitación.

El ingeniero Valencia Restrepo presentó el plan de trabajo que aparece detallado en el anexo C, cuya duración sería de 15 semanas y que se iniciaría en el mes de febrero de 1998. Con posterioridad, fue necesario ampliar el plazo en seis semanas más en razón de la complejidad de algunas de las actividades y de la inclusión de tareas no previstas, como las relacionadas con viajes en el interior y exterior del país.

Un aspecto que también explica la duración del estudio se refiere a la realización de tareas que han tenido una componente importante de gestión. En efecto, la necesidad de concertar, propiciar escenarios de consenso y promover acuerdos preliminares ha implicado la realización de numerosas reuniones y consultas en los medios académicos, empresariales y gubernamentales.

El texto del plan de trabajo, con el título “Ideas preliminares y un plan de trabajo”, fue enviado a universidades, empresas, centros de desarrollo tecnológico y entidades estatales, con el fin de informar al respecto, recibir observaciones y, muy en especial, solicitar colaboración para la realización de las tareas allí indicadas.

Los resultados principales de este plan de trabajo aparecen consignados en los capítulos siguientes de este informe final, con algunos documentos de respaldo que se incluyen en los anexos del mismo.

4

ENCUESTA SOBRE AREAS Y SUBAREAS ESTRATEGICAS

Con el ánimo de adquirir información de entidades y personas sobre áreas y subáreas estratégicas para el desarrollo de Antioquia, se elaboró una encuesta cuyo texto completo aparece en el anexo D. En ella se sugerían algunas áreas y subáreas definidas a partir de varias consultas preliminares, pero se dejaba abierta la opción de incluir nuevas áreas o subáreas.

La encuesta fue enviada a 80 entidades y personas seleccionadas, y se propició en lo posible respuestas institucionales, es decir, que fueran producto de debate en el interior de las entidades. Se obtuvieron 36 respuestas, la mayoría con el carácter antes indicado, las que separadas por grupos arrojaron los siguientes subtotales:

Universidades	6 (más una no institucional)
Sector productivo público y privado	9
Centros de Investigación y Desarrollo	5
Entidades gubernamentales	7
Gremios y asociaciones	3
Consultores	5

Pudo observarse que las preferencias de los diversos grupos mostraban un importante grado de acuerdo en cuanto a las áreas. La tendencia general se repitió cuando se tabularon las respuestas de 33 profesores de la Universidad de Antioquia, las cuales sirvieron de base para la respuesta institucional de dicho centro docente.

Con claridad fueron favorecidas las áreas de Agua, Ambiente, Industria, Energía, Gerencia e Informática. Hubo significativas sugerencias en el sentido que se unieran las áreas de Agua y Ambiente, de una parte, e Informática y Telecomunicaciones, de la otra.

Así mismo, se presentaron tendencias definidas en cuanto a las subáreas asociadas con cada una de las áreas anteriores.

La tabla de la página siguiente resume los resultados generales de la encuesta.

En el anexo E se presenta el texto del informe sobre los resultados de la encuesta, el mismo que fue enviado a todas las entidades y personas que diligenciaron la encuesta. Allí se explica el procedimiento seguido para tabular los diferentes resultados y se muestran diferentes cuadros que detallan las tendencias.

La lista de personas y entidades que diligenciaron la encuesta reposa en los archivos del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. Sin embargo, la responsabilidad de tabulación y análisis de la misma corresponde al autor del presente informe.

AREAS Y SUBAREAS FAVORECIDAS EN LA ENCUESTA

<u>AREAS</u>	<u>SUBAREAS</u>
AGUA	Agua potable y saneamiento Planeamiento Interacción suelo-agua-vegetación Poblaciones y riesgo hidrológico
AMBIENTE	Producción limpia Impacto y mitigación ambiental Biodiversidad
INDUSTRIA	Diseño, procesos y equipos de manufactura Agroindustria Reindustrialización Materiales Bioproductos
ENERGIA	Planeamiento Hidroelectricidad Termoelectricidad Fuentes no convencionales Uso industrial
GERENCIA	Gerencia del conocimiento y la tecnología Gerencia de proyectos Gerencia estratégica
INFORMATICA	Software Administración de la información Sistemas Informática educativa

5

CONSULTA CON ENTIDADES NACIONALES

Aunque la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería parte de la consideración de necesidades y fortalezas en investigación de Antioquia, es apenas natural que ella tenga muy en cuenta el contexto nacional. Los mecanismos de cooperación y las alianzas aquí propuestas deben más adelante trascender el ámbito regional con el ánimo de establecer interacciones con universidades, centros y empresas de diferentes ciudades de Colombia. También es posible que los resultados del estudio sean un estímulo o proporcionen un modelo de referencia para otras regiones del país.

La anterior perspectiva llevó a buscar la participación en el estudio de algunas entidades del orden nacional, con el fin de buscar información, orientación y apoyo. En efecto, Colciencias e ICFES respondieron la encuesta sobre áreas y subáreas estratégicas de que se habló en el capítulo 4, la primera de las entidades con el envío de contribuciones de varios de sus funcionarios. De otro lado, se efectuaron contactos en Bogotá con dos universidades de tradición en el campo de la ingeniería.

Del contenido y avance del estudio se informó personalmente, hacia fines del mes de abril de 1998, al doctor Luis Carlos Muñoz, Director General del ICFES; a los doctores Jorge Ahumada, Secretario General, y Hernán Jaramillo, Subdirector de Programas Estratégicos, de Colciencias; a la doctora Mónica Salazar, del Departamento Nacional de Planeación; al ingeniero Jaime Salazar Contreras, Director Ejecutivo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería; al doctor Jorge Martínez, Vicerrector Académico de la Universidad Nacional; y al ingeniero José Tiberio Hernández, Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes.

En la última universidad mencionada, se tuvo oportunidad de conocer los detalles de un significativo Programa Universidad – Empresa que vincula estudiantes de Maestría de la Facultad de Ingeniería a diferentes empresas. Aquéllos obtienen en éstas unas becas de trabajo para cubrir costos de estudio y parcialmente costos de sostenimiento, y desarrollan actividades usualmente relacionadas con el área de estudio y que hacen parte integral del proceso educativo.

En varias de las reuniones se resaltó la importancia del estudio “Formación de recursos humanos para la innovación y desarrollo tecnológico en ingeniería” que, patrocinado por el Departamento Nacional de Planeación y Colciencias, llevan a cabo la Universidad de los Andes y la Corporación para el Desarrollo de la Investigación y la Docencia Económica, cuyos resultados podrían ser de mucho interés para la iniciativa de los Doctorados.

También fue objeto de discusión frecuente el tema de la financiación, en particular lo relativo a posibilidades de gestionar un empréstito internacional, tal como se menciona más adelante en el capítulo 12.

Fueron claros el interés y el apoyo que brindaron diferentes entidades del orden nacional. En particular, el ICFES y la Comisión Nacional de Doctorados y Maestrías manifestaron en sendas comunicaciones su respaldo a la iniciativa, pues entre sus políticas relacionadas con los programas doctorales está la de propiciar la cooperación entre las universidades para un mejor aprovechamiento de los recursos.

Para conocer las fortalezas de Antioquia en investigación, fue importante la información suministrada por Colciencias con respecto a centros y grupos de investigación, así como con respecto a centros de desarrollo tecnológico del sector industrial, tal como se describe en el capítulo 6.

6

DEMANDAS Y OFERTAS DE INVESTIGACION

Definidas tal como se explicó en el pasado capítulo las áreas y subáreas estratégicas para el desarrollo de Antioquia, se continuó el trabajo con la búsqueda de información relacionada con necesidades de investigación, de un lado, y con el análisis de las fortalezas de grupos de investigación y centros de desarrollo tecnológico, del otro, en ambos casos con relación a la región antioqueña y a las áreas y subáreas ya señaladas.

Necesidades de investigación

Tomando como base entidades que habían diligenciado la encuesta y cuya actividad requiere investigación, se procedió a realizar entrevistas individuales con personal representativo de cada una de ellas. Con anterioridad, se había enviado a cada una de las entidades una comunicación solicitando colaboración para conocer sus necesidades concretas de investigación, actuales y para el inmediato futuro, en las áreas y subáreas favorecidas por la encuesta.

Se llevó a cabo un total de 20 entrevistas, principalmente entre empresas productivas, tanto públicas como privadas, centros de desarrollo tecnológico y entidades estatales. Vale la pena destacar que, por lo general, las respuestas fueron específicas y estuvieron respaldadas por experiencias y realidades de las propias entidades. La acogida de los directivos de éstas a la solicitud del estudio fue atenta y diligente, y puede afirmarse que las diferentes reuniones tuvieron un carácter muy representativo, tanto por el nivel directivo de los asistentes como por los investigadores que con frecuencia estuvieron presentes en las mismas. En algunas ocasiones, los entrevistados entregaron documentos que facilitaron el trabajo del entrevistador.

Todas las entrevistas fueron efectuadas por el autor del presente informe. De cada una de ellas existe un resumen que reposa en los archivos del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, pero la interpretación y síntesis de las mismas es responsabilidad de dicho autor.

Oferta de servicios de investigación

Paralelamente a la actividad descrita antes, se solicitó a Colciencias información sobre centros y grupos de investigación en Colombia, al igual que sobre centros de desarrollo tecnológico, con el fin de conocer la capacidad de Antioquia en la oferta de servicios de investigación en las áreas y subáreas favorecidas en la encuesta.

Bien se sabe que la entidad mencionada llevó a cabo durante los años 1996 y 1997 sendas evaluaciones de los grupos y centros de investigación del país, las cuales culminaron con una selección preliminar y luego con el reconocimiento de estímulos a varios ellos. Durante el año 1996 fueron seleccionados 57 grupos y centros de investigación, de los cuales 11 tienen asiento en Medellín; durante el año 1997 fueron seleccionados 42, entre ellos ocho de Medellín. Conviene registrar que los grupos seleccionados el primer año no se repetían en el segundo.

De otra parte, se conoció un cuadro elaborado por Colciencias, con fecha 18 de junio de 1998, que relaciona los centros de desarrollo tecnológico del sector industrial apoyados por Colciencias.

Resultado de la interacción entre demandas y ofertas

Al contrastar las necesidades de investigación con las capacidades en investigación, se pudo observar que era posible definir unos campos de trabajo para la actividad investigativa que podrían despertar el consenso entre los medios académico y empresarial, campos que mostraban notoria coincidencia con las preferencias manifestadas en la encuesta descrita en el capítulo 4.

En primer lugar, partiendo de las seis áreas favorecidas en la encuesta, se acogieron las sugerencias de unir Agua y Ambiente, de una parte, e Informática y Telecomunicaciones, de la otra. Con respecto al área Gerencia, que no es un área específica de la ingeniería, se decidió proponer la inclusión en el currículo doctoral de una serie de asignaturas y seminarios en dicha temática, como se describe en el capítulo 11. Quedaron entonces definidas cuatro grandes áreas, a tres de las cuales se les asignó una cierta precisión temática que se indica entre paréntesis:

Agua y Ambiente (Interacción suelo-agua-vegetación)

Industria (Automatización – Materiales)

Energía

Informática y Telecomunicaciones (Ingeniería informática)

El ejercicio continuó precisando líneas de investigación dentro de cada una de las cuatro áreas de investigación, lo cual dio origen al primer cuadro que se explica en el capítulo siguiente. En cuadros posteriores del mismo capítulo se indica, además, los centros y grupos de investigación, los centros de desarrollo tecnológico y los programas de posgrado que respaldarían las propuestas áreas y líneas de investigación.

7

AREAS Y LINEAS DE INVESTIGACION PROPUESTAS

Con base en la información reunida como se explicó en el capítulo 6, se llegó a las áreas y líneas de investigación que se muestran en el cuadro de la página 22. Fueron estas áreas y estas líneas las que se propusieron a las universidades y a voceros del sector productivo para alcanzar un consenso inicial que permitiese despegar la iniciativa de los Doctorados.

La inclusión de temas relacionados con la Industria y la Informática es apenas natural si se tiene en cuenta la aspiración de modernizar y hacer innovadora y competitiva la estructura productiva del departamento de Antioquia. Las líneas de investigación propuestas para la primera de las áreas, relacionadas con la Automatización y la Ingeniería de Materiales, podrían beneficiar un amplio espectro de empresas industriales, al igual que lo harían las líneas asociadas con la Ingeniería Informática.

La automatización puede hacer una contribución sustantiva a la productividad, confiabilidad y seguridad de las empresas de bienes y servicios, sobre todo a aquellas que adelantan actividades que exigen gran precisión, la repetición de tareas y una protección contra riesgos inherentes a las mismas. Al mismo tiempo, puede modernizar y mejorar la eficiencia de maquinaria hoy subutilizada en determinadas instalaciones industriales.

De otro lado, en varias de las entrevistas sobre demandas de investigación, se hizo énfasis en la necesidad de conocer mucho mejor las propiedades físicas y químicas de ciertos materiales tradicionales, así como en la ausencia de una cultura técnica sólida sobre varios tipos de tratamientos y procesamientos de los mismos. De igual modo, se consideró urgente favorecer y propiciar el trabajo con nuevos materiales, con materiales ya conocidos pero no empleados antes, y con nuevas aleaciones.

El área Energía aparece como consecuencia natural de su carácter estratégico en la vida económica de cualquier región. En el caso de Antioquia, ello es particularmente cierto en razón de su riqueza hidroeléctrica y la tradición histórica de las Empresas Públicas de Medellín. El país ha confirmado esta posición singular del departamento al definir a la ciudad de Medellín como sede de las otras dos grandes empresas del sector: Interconexión Eléctrica e ISAGEN.

Agua y Ambiente se presentan unidas en un área como consecuencia de varias sugerencias al respecto. Su estrecha relación se pone de presente en el aprovechamiento sostenible de los recursos de suelo, agua y vegetación, así como en la reforestación y la conservación de cuencas hidrográficas. El agua ha sido otra de las fortalezas históricas del departamento, y hoy se reconoce que su valor estratégico será creciente para el mundo en el próximo siglo.

El ambiente tiene el carácter de tema transversal que se relaciona virtualmente con todas las áreas. La conciencia creciente en el mundo, así como las exigencias de los gobiernos de los países industrializados, ponen de presente la conveniencia de procesos y productos cada vez más respetuosos de las condiciones ambientales.

Aunque la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería ha hecho especial énfasis en la necesidad de la innovación y el desarrollo tecnológico exigidos por los fenómenos de globalización y competencia, no puede descuidarse el grave problema social originado en sectores de la población con necesidades básicas insatisfechas. Una sociedad regional no puede ser competitiva si convive con la marginalidad y la exclusión, y si amplios grupos de ella subsisten en condiciones de miseria. Ello justifica en forma amplia la inclusión de líneas como potabilización del agua, disposición de aguas servidas y fuentes no convencionales de energía.

Se entiende que el cuadro en cuestión proporciona una referencia para la concertación en el momento presente, y que en un proceso dinámico las áreas y líneas evolucionarán en el futuro. De igual forma, puede ser discutible la inclusión de alguna línea o la exclusión de otra. Pero sin desconocer la importancia de empezar el trabajo alrededor de líneas de investigación atractivas y que tengan un cierto nivel de desarrollo en la región, lo más importante es que la iniciación del trabajo manifestaría un reconocimiento del papel de la investigación seria y de largo alcance en el desarrollo industrial y de la región, de la necesidad de la cooperación mediante la unión de recursos escasos, y de la crucial interacción entre industria, academia y gobierno alrededor de actividades estables y de enjundia.

Finalmente, en el cuadro de las páginas 23 y 24 se muestran los grupos de investigación, los centros de desarrollo tecnológico y los actuales programas de posgrado que respaldan la propuesta sobre áreas y líneas de investigación. Este cuadro muestra sin duda las fortalezas al respecto, máxime si en el mismo no se incluyen las empresas del sector productivo ni las entidades estatales que estarían dispuestas a prestar su concurso y a interactuar con los demás participantes.

Por otra parte, la investigación en ingeniería exige el trabajo conjunto con otras disciplinas y profesiones, por lo cual es conveniente mencionar algunos centros y grupos que podrían apoyar los programas doctorales en ingeniería y que, a su vez, podrían verse dinamizados por la actividad de los mismos:

Grupo de Investigación en Matemática – Universidad Nacional, Medellín
Corporación para Investigaciones Biológicas
Centro de Investigaciones Económicas – Universidad de Antioquia
Corporación para el Desarrollo de la Investigación y la Docencia Económica
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos
Corporación Incubadora de Empresas de Base Tecnológica
Parque Tecnológico de Antioquia
Grupo de Química Orgánica de Productos Naturales – Universidad de Antioquia
Grupo de Investigación en Carboquímica y Catálisis – Universidad de Antioquia

Finalmente, conviene señalar que en este documento sólo se incluyeron centros, grupos y programas académicos con asiento en la región. Sin embargo, en una etapa ulterior es necesario contar con entes y actividades similares o conexas que existen en otras ciudades del país y que podrían apoyar o complementar la actividad doctoral, amén que es igualmente del caso considerar el respaldo que podría obtenerse mediante cooperación internacional.

AREAS

LINEAS DE INVESTIGACION

<p>AGUA Y AMBIENTE Interacción suelo-agua-vegetación</p>	<p>Conocimiento y ordenación del territorio -Inventarios y registros con base en trabajo de campo, sensores remotos y sistemas de información geográfica -Aprovechamiento productivo y ecoeficiente de los recursos de suelo, agua y vegetación -Reforestación Potabilización del agua y disposición de aguas Servidas Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas Meteorología (estudios de clima y su influencia en la salud, en los eventos hidrológicos extremos con riesgo para la población, y en las ofertas de agua para el consumo humano, la actividad agropecuaria, el consumo industrial y la generación eléctrica)</p>
<p>INDUSTRIA Automatización ----- Ingeniería de Materiales</p>	<p>Instrumentación Teoría de control Sistemas de control Microelectrónica Robótica ----- Ciencia de los materiales Tratamientos y procesamientos Nuevos materiales Biomateriales</p>
<p>ENERGIA</p>	<p>Planeamiento (expansión y operación de sistemas de generación y transmisión de energía eléctrica, sustitución de energéticos, uso eficiente de la energía, energía y PIB, ecoeficiencia energética) Mercados (modelos económicos, desarrollos financieros, bolsas de energía) Conocimiento de energéticos (propiedades físicas, químicas y térmicas) Fuentes no convencionales Sistemas de potencia</p>
<p>INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES Ingeniería Informática</p>	<p>Administración de la información Sistemas de información Ingeniería de software Informática educativa Telemática</p>

CENTROS Y GRUPOS

AREAS

PROGRAMAS DE POSGRADO

<p>AGUA Y AMBIENTE Interacción suelo-agua-vegetación</p>	<p>Grupo de Investigaciones en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos – Universidad Nacional, Medellín Instituto de Estudios Ambientales – Universidad Nacional, Bogotá y Medellín Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería – Universidad de Antioquia Grupo de Geología Ambiental – Universidad EAFIT Grupo de Investigación en Matemática – Universidad Nacional, Medellín</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Doctorado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos – Universidad Nacional, Medellín Maestría en Bosques y Conservación Ambiental – Universidad Nacional, Medellín Maestría en Ingeniería Ambiental – Universidad de Antioquia Especialización en Manejo de Plantaciones Forestales – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Gestión Ambiental – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente – Universidad EAFIT Especialización en Biotecnología Vegetal – Universidad Católica de Oriente Especialización en Gestión Ambiental – Universidad de Antioquia Especialización en Ingeniería Ambiental – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Gerencia del Ambiente – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Educación Ambiental – Universidad Católica de Oriente</p>
<p>INDUSTRIA Automatización Ingeniería de Materiales</p>	<p>Centro de investigaciones Ambientales y de Ingeniería – Universidad de Antioquia Corporación Centro de Productividad y Desarrollo Tecnológico del Sector Metalmecánico y Siderúrgico Instituto de Capacitación y Desarrollo Tecnológico del Plástico y del Caucho</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>Doctorado en Ciencias Químicas – Universidad de Antioquia Doctorado en Física – Universidad de Antioquia Especialización en Ciencias Electrónicas e Informática (área: Automatización Industrial) – Universidad de Antioquia Especialización en Automática – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Tratamientos Térmicos – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Bioingeniería – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Procesos de Transformación del Plástico y del Caucho – Universidad EAFIT</p>

<p>ENERGIA</p>	<p>Grupo de Energía y Termodinámica – Universidad Pontificia Bolivariana Grupo de Investigaciones en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos – Universidad Nacional, Medellín Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería – Universidad de Antioquia Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico Centro Nacional de Producción Más Limpia</p> <p>-----</p> <p>Maestría en Sistemas Energéticos – Universidad Pontificia Bolivariana Maestría en Economía Energética y de los Recursos Naturales – Universidad Nacional, Medellín Doctorado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos – Universidad Nacional, Medellín Maestría en Ciencia y Técnica del Carbón – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Gases Combustibles – Universidad Pontificia Bolivariana</p>
<p>INFORMATICA Y TELECOMUNICACIONES Ingeniería Informática</p>	<p>Grupo Línea I + D en Informática Educativa – Universidad EAFIT</p> <p>-----</p> <p>Maestría en Ingeniería Informática – Universidad EAFIT Maestría en Ingeniería de Sistemas – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Sistemas de Información – Universidad EAFIT Especialización en Sistemas (áreas: Administración de Sistemas Informáticos; Metodología y Programación de Bases de Datos) – Universidad Nacional, Medellín Especialización en Ciencias Electrónicas e Informática (área: Bases de Datos) – Universidad de Antioquia Especialización en Ciencias Electrónicas e Informática (área: Telemática) – Universidad de Antioquia Especialización en Telecomunicaciones – Universidad Pontificia Bolivariana Especialización en Gerencia de Información – Universidad de Medellín Especialización en Auditoría de Sistemas – Universidad EAFIT</p>

Notas. En el cuadro anterior sólo aparecen grupos de investigación seleccionados por Colciencias en 1996 y 1997, y centros de desarrollo tecnológico apoyados por la misma entidad según lista de junio de 1998. La información sobre programas de posgrado fue obtenida de catálogos recientes suministrados por las universidades, pero puede ser posible que en algunos casos se requiera actualización.

8

MECANISMOS DE COOPERACION REGIONAL

La iniciativa de los Doctorados en Ingeniería busca la participación de muchas entidades de diversa índole, como universidades, empresas, agencias gubernamentales y centros de desarrollo tecnológico. Por ello no es fácil diseñar las políticas y los mecanismos de coordinación y cooperación para emprender las tareas de largo plazo aquí propuestas.

Los esquemas de trabajo que se sugieren a continuación podrían servir para iniciar las primeras tareas, de modo que con el tiempo sea posible efectuar los ajustes que la experiencia aconseje. El Año de la Ingeniería, cuyas características se discuten en el capítulo 13 del informe, sería una excelente oportunidad para poner a prueba el funcionamiento de esos esquemas.

Entidad de coordinación general

Es del caso que exista un ente que ejerza una supervisión general de las actividades, brinde un soporte jurídico y designe el Comité Coordinador que se menciona más adelante.

El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia podría ser la entidad que asumiese las tareas anteriores, al menos inicialmente. Se trata de una corporación mixta, de derecho privado, sin ánimo de lucro, fundada en 1989 con el apoyo del gobierno departamental, Colciencias y algunas universidades, gremios, instituciones y empresas privadas de la región.

El objeto principal del Centro es “crear y mantener las condiciones necesarias para el desarrollo de una cultura de la ciencia y la tecnología en Antioquia, considerando los escenarios nacional e internacional y apoyadas en el establecimiento de vínculos creativos entre los sectores productivo, gubernamental, académico e investigativo en el marco del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología” [CTA, 1998].

Dicha entidad ha mostrado en los últimos años un poder de convocatoria y de acción que se pone de manifiesto con la construcción paulatina y sistemática del Sistema Regional de Innovación de Antioquia, la creación de las Cátedras del Agua y Biotecnología, el impulso a la constitución del Centro Nacional de Producción Más Limpia y la operación regional del Programa de Mejoramiento Continuo y Gestión Tecnológica [CTA, 1997].

Es de destacar que la primera de las actividades antes nombradas, relacionada con la innovación, le ha proporcionado al Centro un contacto directo con varias de las realidades que enfrentan los sectores académicos, empresariales y gubernamentales de la región, y al mismo tiempo una conocimiento de las condiciones para llevar a cabo una interacción efectiva entre esos protagonistas del desarrollo.

Las actividades iniciales del Centro se orientarían a promover los compromisos y acuerdos entre los diversos actores, poner en marcha los mecanismos de cooperación y a crear las condiciones para realizar el Año de la Ingeniería.

Si la escala de las actividades lo amerita, más adelante podría pensarse en constituir una fundación o corporación que reemplazase al mencionado Centro.

Proantioquia continuaría brindado un apoyo visible, al menos hasta que terminase el Año de la Ingeniería y se hubiesen consolidado las estructuras de coordinación.

En lo que sigue, se describirán varios comités de concertación, indispensables para propiciar los consensos entre los diferentes participantes.

Comités de concertación

COMITE COORDINADOR. Sería integrado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia con representación de las universidades, el sector productivo público y privado, los centros de desarrollo tecnológico y el gobierno. Sus funciones principales serían:

- Señalar políticas generales
- Buscar recursos financieros, decidir sobre su aplicación y administrarlos por intermedio del Centro
- Designar el Comité Académico, del cual se hablará enseguida

COMITE ACADEMICO. Se constituiría por el Comité Coordinador con representación de las universidades, el sector productivo público y privado, y los centros de desarrollo tecnológico. Sus funciones principales serían:

- Promover los escenarios de consenso para precisar contenido y alcance de las líneas de investigación, discutir y sugerir las responsabilidades de las diferentes universidades, y elaborar los cronogramas para los programas de Maestría y Doctorado en las diferentes líneas de investigación. Como referencia inicial se tomaría el cuadro sobre áreas y líneas de investigación que se presentó en el capítulo 7.
- Señalar las necesidades de capacitación para cumplir los cronogramas mencionados anteriormente, para lo cual se tendrá en cuenta que ellas cubren tanto al sector académico como al empresarial.
- Hacer inventario de necesidades en equipos, materiales y documentación.
- Programar la cooperación internacional.

- Indicar el tipo de financiamiento, principalmente con base en becas, que debe ofrecerse a los estudiantes de Maestría y Doctorado, de manera que aquellos puedan hacer efectiva la dedicación de tiempo completo a los estudios.
- Presentar al Comité Coordinador los requerimientos financieros para atender las necesidades mencionadas, para lo cual elaborará presupuestos año por año para un período de diez años.
- Programar el Año de la Ingeniería, el cual podría proporcionar un escenario para iniciar el cumplimiento de las funciones anteriores (ver capítulo 13).
- Designar los Comités de Tesis, de los cuales se hablará enseguida.

COMITES DE TESIS. Para cada una de las áreas objeto de trabajo doctoral y en su debido momento, el Comité Académico constituiría con representación académica y empresarial un Comité de Tesis, cuya tarea sería definir un repertorio de temas que sirviesen de orientación a los estudiantes para proponer sus proyectos de tesis doctoral. El ejercicio de concertación debe permitir que los temas de tesis cumplan la finalidad académica y al mismo tiempo propicien la innovación, el desarrollo tecnológico y su eventual aplicación industrial.

Los ritmos y la colaboración Industria-Universidad

Una dificultad que históricamente ha impedido el avance de las relaciones entre la empresa y la academia tiene que ver con los muy diversos ritmos que caracterizan las actividades de una y otra. Cierta parsimonia de la actividad científica, unida a la frecuente pesadez administrativa de la universidad, contrasta con el dinamismo gerencial de la industria y su apego, por lo general, a los resultados medibles en el corto plazo.

El acercamiento entre estos dos participantes exigirá un mínimo de sincronía entre los ritmos respectivos. Será indispensable diseñar conjuntamente nuevos esquemas con agilidad administrativa y, al mismo tiempo, favorecer las actividades con resultados que muchas veces trascenderán la visión de corto plazo.

Lo anterior sólo se logrará con un mayor conocimiento y trabajo conjunto entre esos actores. Con el fin de apoyar y fortalecer la interacción entre la academia y la empresa, se proponen actividades como las siguientes:

- Realización de pasantías de profesores en el medio industrial con el fin de familiarizarse con temas y problemas industriales relacionados con la actividad académica del profesor, interactuar con empresarios para definir proyectos de interés mutuo y vislumbrar colaboración industria-universidad de largo plazo
- Participación de empleados de las empresas en programas de capacitación, que incluyan programas de largo alcance como los de Doctorado
- Integración de grupos de investigación alrededor de proyectos concretos, cuyos miembros tengan origen tanto en la academia como en la empresa
- Estadía de tesis en una empresa industrial que tenga relación con el respectivo proyecto de tesis. En estos casos es muy recomendable que, además del Director de Tesis, se designe un Director Asociado que pertenezca a dicha empresa.

-Colaboración docente de líderes empresariales y empleados de las empresas en cursos y seminarios, en especial en el análisis de casos, de modo que la experiencia del sector productivo enriquezca clases y talleres universitarios, y a la vez propicie el emprendimiento de actividades y proyectos conjuntos.

Cooperación entre las universidades

Aspecto central de la iniciativa sobre Doctorados en Ingeniería es el relacionado con la cooperación entre las universidades de la región antioqueña. Con base en las áreas y líneas de investigación definidas en el capítulo respectivo, así como teniendo en cuenta los programas de posgrado existentes y los grupos de investigación y desarrollo en esas áreas y líneas, se propone lo siguiente:

Asociar inicialmente a cada área de investigación una universidad coordinadora, que contaría con el apoyo de las demás universidades para el desarrollo de las diferentes líneas de investigación relacionadas con el área. La universidad coordinadora tendría responsabilidades como las siguientes:

- Una vez definido el cronograma de desarrollo de programas doctorales, o de éstos precedidos por programas de maestría, programar las actividades para llevarlos a cabo, con inclusión de las gestiones legales necesarias para las respectivas aprobaciones académicas y/o gubernamentales.
- Responsabilizarse del desarrollo de un nodo en el área respectiva, según las características que se discuten en el apartado siguiente de este mismo capítulo.
- Impulsar las tareas de discusión y consenso que se llevarán a cabo dentro del Año de la Ingeniería.

Debe quedar claro que el concepto de universidad coordinadora no excluye la posibilidad de que otras universidades lleven a cabo también eventuales programas doctorales en el área. Una alternativa de interés es que se distribuya el trabajo entre universidades tomando como referencia líneas de investigación y no áreas de investigación.

La definición de áreas y líneas de investigación, así como la asignación de universidades coordinadoras, es un paso inicial muy conveniente para un primer impulso de las actividades del Doctorado, sobre todo para el comienzo de un proceso que se espera sea de largo alcance. Con el tiempo cambiarán las áreas y líneas, así como los centros académicos con mayor protagonismo.

Finalmente, vale la pena mencionar la existencia de una experiencia concreta de cooperación entre universidades del país para la realización de un programa doctoral. Se trata de un esfuerzo para organizar y ejecutar de manera conjunta un programa de Doctorado en Educación [Cooperación interuniversitaria, 1993].

Los nodos de área

Como ya se indicó, cada universidad coordinadora de área tendría como una de sus tareas principales el desarrollo de un nodo que buscaría propiciar la realización de actividades conjuntas, reunir información y aprovechar las nuevas tecnologías de telecomunicaciones.

El uso de las herramientas de Internet con fines docentes e investigativos se extiende rápidamente en el mundo, de modo que los procesos educativos se vienen beneficiando del progreso de la red. Los anuncios de mejoras y adaptaciones de Internet para facilitar el aprendizaje y unir más eficazmente a los investigadores, permitirán en un futuro cercano disponer de instrumentos más veloces y ágiles para las actividades académicas.

En el ámbito regional, cada nodo sería un escenario de trabajo conjunto entre las diversas personas y entidades asociadas con el trabajo del área, como universidades, empresas, grupos de investigación y centros de desarrollo tecnológico. Por ejemplo, allí podrían llevarse a cabo las teleconferencias, así como clases y seminarios en un aula virtual, de interés para los asociados.

La existencia del nodo facilitaría varias de las actividades relacionadas con la cooperación internacional. En efecto, diferentes universidades del mundo están utilizando en forma regular las telecomunicaciones para dinamizar y extender sus actividades académicas. Se comenta que más de 100 instituciones universitarias de los Estados Unidos se han asociado para diseñar una red especializada y más rápida que sustituya a Internet en lo tocante a fines educativos.

9

INSTRUMENTOS DE APOYO EXISTENTES EN LA REGION

Los mecanismos de cooperación que se propusieron en el capítulo 8 deben tener muy en cuenta los marcos jurídicos, los instrumentos de apoyo y las entidades que existen en el país y la región para el avance de la ciencia y la tecnología, así como para el fomento de la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico.

En razón de lo anterior, se hará una breve presentación del contexto nacional y regional con énfasis en las instancias que ya existen en Antioquia, las cuales pueden ser de gran utilidad para la orientación, acercamiento de participantes y dinamización de procesos con respecto a la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería. Es de resaltar la amplia coincidencia de áreas temáticas de trabajo entre aquellas instancias y las propuestas por esta iniciativa en el capítulo 7.

El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, y la Regionalización

Una de las conclusiones provenientes de la Misión de Ciencia y Tecnología, organizada hacia fines de la década pasada, mencionaba la necesidad de institucionalizar o estructurar en forma orgánica un sistema de carácter nacional que dotara de unidad de objetivo, así como de consistencia y coherencia de acción, a las actividades mediante las cuales se buscaba desarrollar la capacidad científico tecnológica del país [Colciencias, 1995].

El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología se creó en 1990 mediante la Ley 29, la cual asignó al Estado la responsabilidad de promover y orientar las actividades de ciencia y tecnología, y de vincularlas a los procesos de desarrollo económico y social que buscan el mejoramiento de las condiciones de vida de la población colombiana. Con posterioridad, se definió a éste como un sistema abierto y no excluyente del que forman parte todas las actividades de ciencia y tecnología que se desarrollan tanto en el sector público como en el privado. Aparecieron entonces los Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología, las Estrategias Permanentes y los Programas Estratégicos.

En forma paralela, la Constitución de 1991 desarrolló un importante replanteamiento de las relaciones entre el Estado central y las regiones, mediante un concepto nuevo de ordenamiento territorial y descentralización que debió ser tenido en cuenta para la organización y gestión de las actividades de ciencia y tecnología en el país. Se

constituyeron entonces cinco Misiones Regionales destinadas a elaborar un diagnóstico, definir estrategias y presentar una propuesta de ordenamiento regional. Concluido este trabajo, se conformaron en 1994 las Comisiones Regionales de Ciencia y Tecnología.

En forma concreta, la política nacional decidió apoyar iniciativas regionales con el propósito de atender necesidades de modernización e innovación de los sectores productivos de las diversas regiones del país y lograr una mayor inserción de las empresas y universidades locales en las redes nacionales e internacionales de innovación. Entre otras iniciativas, se brindó respaldo a la construcción de los Sistemas Regionales de Innovación, en el marco del Sistema Nacional de Innovación, a las Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica, a los Centros Regionales de Productividad y Desarrollo Empresarial, y a los Centros de Desarrollo Tecnológico. En lo que sigue, se hará mención de algunos de estos instrumentos y mecanismos ya existentes en Antioquia.

Centros de desarrollo tecnológico

Diversas concepciones han inspirado la evolución de los Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT) en el país [Colciencias, 1996]. De un modelo basado en la financiación del Estado hasta 1989, se pasó a un acelerado proceso de privatización entre los años 1990 y 1994; de 1995 en adelante, con base en el fortalecimiento del Sistema Nacional de Innovación, se diseñó una nueva política que señala a los empresarios como líderes del desarrollo tecnológico pero, al mismo tiempo, que asigna al Estado un papel activo en la promoción y creación de condiciones de apoyo a la investigación tecnológica.

La última concepción mencionada asigna a los CDT características y funciones como las siguientes: desarrollo de mecanismos de articulación entre oferta y demanda; financiación diversificada; adopción de mecanismos de cooperación pública y privada, basados en modelos mixtos que nacen de la alianza estratégica entre los dos sectores; mayor especialización sectorial; mayor participación de los empresarios en la dirección y financiamiento; y sostenibilidad en el largo plazo.

Para los propósitos de la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería, los CDT pueden desempeñar un papel clave en el acercamiento entre Universidad e Industria, en la definición de temas y proyectos significativos para la innovación y el desarrollo tecnológico, y en la orientación general de las actividades de la iniciativa. Por ello se prohió su participación en el presente estudio, tanto para el diligenciamiento de la encuesta sobre áreas estratégicas como para el inventario de necesidades concretas de investigación en dichas áreas. En los cuadros de las páginas 23 y 24 aparecen los CDT con asiento en Antioquia y relacionados con las líneas de investigación propuestas.

Sistema Regional de Innovación de Antioquia

Desde hace un par de años se viene trabajando en la construcción de un “tejido científico tecnológico” entre las entidades que en la región llevan a cabo actividades en dicha temática [Arboleda, 1997]. Se registran ya avances concretos pues la concertación

y el trabajo conjunto con los actores comprometidos en el desarrollo científico y tecnológico han sido claves para conocer de cerca sus realidades individuales, y al mismo tiempo han permitido diseñar mecanismos de interacción que faciliten el crecimiento colectivo. Todo ello como parte fundamental de las actividades del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, del cual se habló en el primer apartado del capítulo 8.

Para la fecha del documento citado se habían identificado 42 proyectos de mejoramiento tecnológico, varios de los cuales se encontraban ya en la etapa de realización. Muy ilustrativo fue el trabajo efectuado por el Grupo de Innovación en el Sector Metalmeccánico, mediante el cual tuvo lugar un acercamiento efectivo entre siete empresas del sector, cuatro universidades, el SENA y el Centro de Desarrollo Tecnológico Metalmeccánico. Un mecanismo similar se aplicó, igualmente con resultados satisfactorios, a temas industriales de carácter transversal como el relacionado con la producción más limpia. En la actualidad se desarrollan también grupos de innovación en los sectores de alimentos, plástico y caucho.

El Sistema Regional de Innovación definió como áreas de trabajo las relaciones interinstitucionales, las líneas de apoyo y el sistema de información. Mediante la generación de proyectos, eje para el contacto real entre los actores, ha venido propiciando y fortaleciendo la actividad en las tres áreas señaladas.

Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia

La entidad es una corporación mixta de derecho privado, sin ánimo de lucro, constituida en 1996. Identifica y apoya ideas y proyectos que tienen la posibilidad de convertirse en empresas rentables, en las cuales el conocimiento sea el insumo principal y la innovación el factor relevante para la competitividad. [Incubadora, 1998]. Entre las entidades que apoyan su financiación se encuentran varias universidades y otros centros educativos de la región, las Empresas Públicas de Medellín, la Cámara de Comercio de Medellín, la Asociación Nacional de Industriales, Proantioquia, empresas de carácter privado, la Fundación Corona, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, la Gobernación de Antioquia, la Alcaldía de Medellín y Colciencias. Se cuenta, además, con la cooperación internacional de ONUDI y OIM, así como con el apoyo de instituciones de Canadá, Suecia, Italia y Francia.

La Incubadora brinda servicios a entidades públicas y privadas en lo relativo a formulación de proyectos y gestión estratégica de tecnologías. Se trabaja en una red de formulación para abordar las aspiraciones en un ejercicio que llega hasta el desarrollo de factibilidades. Los proyectos aspirantes o en proceso de incubación se relacionan principalmente con las áreas de automatización y control de procesos industriales, telecomunicaciones, informática, bioingeniería, biomedicina y biotecnología. En la fecha del documento de referencia citado en el párrafo anterior, se registraba un total de nueve empresas promovidas por la Incubadora.

Parque Tecnológico de Antioquia

Se constituye en 1997 como sociedad anónima que promoverá la integración del gobierno, el sector productivo y la universidad en tareas de innovación, incremento de la productividad y competitividad de la región y el país [Parque, 1998]. Son socios de la entidad la Universidad de Antioquia, el Colegio de Altos Estudios de Quirama, otros centros docentes de la región, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Alimentaria, la Federación Antioqueña de la Madera y Suramericana de Construcciones.

El Parque, cuyo lema es Ciencia, Tecnología y Humanismo, está localizado en el municipio de Rionegro y acogerá en su seno empresas no contaminantes, cuya razón de existir sea la innovación y con las cuales se esté apuntando al desarrollo tanto de la región como del país. Además de albergar centros innovadores y de tecnología avanzada, será espacio de comunicación, conocimiento mutuo, cooperación, economía de medios, y recursos interempresariales e intersectoriales.

Han sido definidos los siguientes frentes para promover empresas mixtas o de “joint venture” y negocios conjuntos: fundición, metalmecánica, maquinaria, equipo y herramientas, química, agroindustria, farmacia, ambiente, estudios sociales y culturales, manejo eficiente de la energía, nuevos materiales, telemática, biotecnología, biomedicina, electrónica y software [Parque, sin fecha].

10

ALIANZAS INTERNACIONALES

Es un imperativo que un programa doctoral sea de una calidad tal que pueda ser competitivo en el ámbito internacional. Ello quiere decir que sus investigadores, proyectos y publicaciones resistan el análisis de los pares reconocidos internacionalmente en las áreas y línea de investigación que son objeto del programa en cuestión.

El mantenimiento de ese nivel de excelencia exige, entonces, una interlocución permanente con programas de posgrado y grupos de investigación de reconocido prestigio. En esta consideración se basó el presente estudio para proponer alianzas internacionales en la preparación de los proyectos de Doctorado, y para realizar unas gestiones preliminares en ese sentido. Como es natural, existen ya programas de cooperación internacional en varias universidades de la región que adelantan estudios de posgrado, los cuales deben ser aprovechados y fortalecidos.

Visita al Instituto Tecnológico de Massachusetts

Un centro de gran prestigio mundial en el campo de la ingeniería es el Instituto Tecnológico de Massachusetts, bien conocido en Colombia y en el cual numerosos nacionales ha realizado sus estudios, en especial de nivel de posgrado. Si se examinan las áreas estratégicas favorecidas en la encuesta del estudio y presentadas en el capítulo 4, puede concluirse que dicho Instituto tiene fortalezas en todas ellas.

Aprovechando los vínculos de numerosos profesionales de Medellín con la universidad ya señalada, el autor de este informe viajó durante una semana en mayo de 1998 a la ciudad de Cambridge, Massachusetts, con el fin de explorar posibilidades de cooperación. En las diferentes entrevistas sostenidas, encontró una decidida disposición para la interacción con universidades de Medellín interesadas en el fomento de programas doctorales en ingeniería.

La reunión fundamental tuvo lugar con el doctor Rafael L. Bras (rlbras@mit.edu), actual Jefe del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del Instituto, quien además es un hidrólogo de talla mundial. Algunas de las principales conclusiones de ella fueron las siguientes.

-Para que la cooperación sea efectiva y duradera, se requiere una financiación significativa.

-Para los profesores del Instituto es fundamental que los temas objeto de estudio, proyectos e investigación por parte de los programas de Medellín, tengan interés para ellos, pues eso asegura que estarán dispuestos a emplear tiempo significativo en las tareas de cooperación.

La primera condición exige esquemas financieros de envergadura, en tanto que la segunda es bien posible de satisfacer, como lo prueba la experiencia del Doctorado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional – Sede Medellín.

El Dr. Bras brindó así mismo otros valiosos comentarios sobre duración de los programas doctorales, inclusión del tema gerencial, los comités de tesis, etc., los cuales en algún grado han sido recogidos en el presente informe.

Una vez queden definidas en firme las líneas de investigación de los proyectados programas doctorales, los cronogramas de desarrollo y los esquemas financieros, será del caso retomar las gestiones con el Instituto, en la seguridad de que el ambiente es favorable y que, además, se cuenta con el claro interés del profesor Bras.

Un marco de referencia para la cooperación, ya conocido por el mencionado profesor del Instituto, consideró los siguientes puntos:

- Presencia de profesores del MIT en los jurados de tesis y exámenes doctorales
- Vinculación de profesores del MIT a proyectos de investigación que se adelanten en los programas de posgrado y que también sean de interés para el Instituto
- Estadías en el MIT de seis meses a un año por parte de estudiantes de tesis doctoral, debidamente supervisadas por profesores de la universidad colombiana de origen y profesores del MIT
- Estadías de profesores del MIT en Medellín con el fin de dictar cursos, seminarios, talleres o conferencias, o participar en estudios o asesorías que se lleven a cabo en los programas de posgrado
- Estadías de profesores de los programas de posgrado en el MIT, con calidad de “Visiting Professor” o “Visiting Scholar”, con el fin de participar en investigaciones, estudios o actividades académicas de perfeccionamiento y actualización
- Realización de teleconferencias
- Intercambio de todo tipo de material docente e investigativo

Las telecomunicaciones

De interés fueron también las conversaciones sostenidas con la señora Diana V. García-Martínez (dvgarcia@mit.edu), Directora del Programa de Estudio Avanzado del Centro para Servicios Educativos del MIT, sobre la posibilidad de realizar teleconferencias relacionadas con aspectos gerenciales.

Se puso de presente el significativo papel que pueden jugar las redes de telecomunicación en los programas internacionales de cooperación, así como el uso

corriente que el Instituto hace de los nuevos medios. De ahí también la importancia de contar con los nodos de que se habló en el capítulo 8.

Como en diferentes apartes de este informe se menciona la necesidad de la cultura gerencial para ingenieros de alto nivel investigativo ligados al desarrollo industrial, se puso de presente la destacada experiencia del MIT en este campo, merced principalmente a los logros de su bien conocida Sloan School of Management. Por esta razón se efectuó, en compañía de la señora García-Martínez, una visita a los profesores Robert Russman Halperin, Director de Educación Ejecutiva, y Lisa Kaminski, Directora de Programas Ejecutivos Especiales, de la escuela mencionada.

Otros contactos

El viaje también se aprovechó para iniciar contactos personales con otros dos profesores de origen latinoamericano que gozan de prestigio en los medios académicos de los Estados Unidos:

Juan B. Valdés (jvaldes@engr.arizona.edu), Profesor y Jefe del Departamento de Ingeniería Civil & Ingeniería Mecánica de la Universidad de Arizona, en Tucson. En varias de las áreas estratégicas consideradas en Medellín tiene fortaleza esta universidad, y habría el interés para elaborar convenios de cooperación.

Ignacio Rodríguez-Iturbe, en la actualidad profesor de la Universidad de Texas A & M, pero que a partir de 1999 se vinculará a la Universidad de Princeton. Su opinión, favorable a la cooperación, es que ésta tenga lugar con la segunda institución mencionada.

Es deseable que los programas de cooperación se extiendan a otras universidades y centros de investigación del mundo, particularmente de Latinoamérica y Europa. De interés sería aprovechar las relaciones que la Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia ha establecido con organismos internacionales, universidades del exterior y gobiernos.

Proyecto del MIT Harvard Club de Colombia

El MIT Harvard Club de Colombia viene impulsando desde meses atrás un proyecto que busca establecer una amplia cooperación con el Instituto Tecnológico de Massachusetts para la formación de cuadros con diferentes niveles de formación, que puedan contribuir al desarrollo tecnológico del país. El proyecto es liderado por el ingeniero Alberto Ospina, quien se ha reunido con numerosos profesores de dicho Instituto y adelantado múltiples gestiones con entidades oficiales de Colombia.

Como dentro del señalado proyecto se indica el papel que podrían desempeñar los doctorados en ese escenario de cooperación, se ha buscado la forma de establecer una coordinación entre esa iniciativa y la de los Doctorados en Ingeniería en Antioquia. Para ello se han efectuado diversas reuniones con el ingeniero Ospina en el país y en el MIT, y también con la economista Adriana Arcila, Presidenta del MIT Harvard Club de Colombia.

11

ESBOZO CURRICULAR

Para lo que sigue, se ha tomado como base algunos documentos del programa de Doctorado en Ingeniería – Area Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Minas [Universidad Nacional, 1989; Universidad Nacional, 1991], así como experiencias personales del autor y conversaciones con expertos.

Bien se sabe que cualquier propuesta de programa doctoral tiene que satisfacer requisitos legales, de modo que las consideraciones siguientes sólo pretenden proporcionar un material de referencia.

Título. El Doctorado en Ingeniería se considera una instancia académica del más alto nivel de excelencia, centrada en el trabajo investigativo. La academia otorga el título de Doctor en Ingeniería, aunque cada estudiante admitido al programa debe desarrollar su trabajo en un área relacionada con la mencionada profesión, y concretamente dentro de una línea de investigación. Por ello es importante que el diploma respectivo incluya el nombre del área de investigación en que trabajó el candidato, o el título de la tesis que le permitió obtener el doctorado.

Cuando una universidad acredita las calidades para otorgar el título de Doctor en Ingeniería es porque en una o más áreas de investigación, con sus respectivas líneas, existen las condiciones para formar investigadores del nivel mencionado.

Duración. La duración del programa doctoral será mínimo de seis semestres académicos con dedicación de tiempo completo. Es fundamental que se ejerza un seguimiento estricto al tiempo de realización de los estudios, pues los programas doctorales en América Latina tienden, por lo general, a durar indefinidamente y, a veces, a no graduar a nadie. El trabajo esencial del programa lo constituye la realización de una tesis doctoral de carácter investigativo que debe constituirse en un aporte original al avance del conocimiento.

Admisión. El aspirante debe tener un nivel académico semejante o superior a un egresado de programa de Magíster y una experiencia investigativa inicial que le permita acometer el trabajo de tesis. Es requisito indispensable que uno de los profesores del Doctorado lo admita desde el principio como candidato a dicho título y lo incluya dentro de su actividad investigativa desde que el candidato inicie el programa.

El requisito anterior pone bien de presente la necesidad de que antes de la iniciación de la actividad doctoral existan en el programa un cuerpo docente de investigadores, unas líneas de investigación y unos proyectos financiados que permitan la incorporación de

los estudiantes admitidos, desde el primer momento, a las tareas de investigación en el área respectiva.

Para estudiar la solicitud de admisión de un aspirante, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Una hoja de vida académica o profesional que a juicio de las autoridades del programa faculten al aspirante para llevar a cabo la actividad doctoral
- Acreditar conocimientos en el área o línea objeto de la investigación, así como comprensión de textos en una segunda lengua útil para su trabajo de posgrado, de modo que el candidato pueda seguir con provecho el programa. Las autoridades de éste decidirán en cuáles casos deberá practicarse un examen para fines de la acreditación anterior
- Estar en condiciones de matricularse como estudiante de tiempo completo

La última condición implica que el programa debe disponer de fondos que permitan financiar decorosamente a los estudiantes graduados, ya sea mediante el pago de eventuales servicios que presten al programa, el otorgamiento de becas o de ambos mecanismos.

Currículo. A continuación se presenta un posible plan de estudios para el mínimo de seis semestres, aunque bien se sabe que las contingencias que surgen de la realización de un proyecto de investigación de alcance significativo hacen difícil establecer una duración fija para la realización del mismo.

SEMESTRE 1

Asignatura I

Curso Dirigido I

Seminario Doctoral I

SEMESTRE 2

Asignatura II

Curso Dirigido II

Seminario Doctoral II

SEMESTRE 3

Asignatura III

Tesis

SEMESTRE 4

Asignatura IV

Tesis

SEMESTRE 5

Tesis

SEMESTRE 6

Tesis

Evaluaciones. Al cabo del segundo semestre, los estudiantes interesados en continuar en el programa deberán presentar un Examen Doctoral, el cual constará de dos partes: un examen escrito de conocimientos en el área específica; y la presentación por parte del estudiante de una propuesta de investigación (proyecto de tesis) en la que se demuestre la originalidad del tema, la idoneidad del estudiante para alcanzar los objetivos y la factibilidad de obtenerlos en un tiempo prudente. Esta segunda parte debe cumplirse a lo sumo un semestre después de haber sido aprobada la primera parte.

Finalmente, el estudiante deberá sustentar su tesis.

Jurado. Para la evaluación del trabajo de cada estudiante, las autoridades del programa se asesorarán de un jurado especializado, compuesto por tres miembros, uno de los cuales debe ser el profesor que orienta el trabajo del estudiante, y otro un investigador externo al programa y de prestigio internacional. Este jurado deberá rendir sendos informes aprobatorios o no aprobatorios de las dos partes del Examen Doctoral y de la sustentación de la tesis.

Cursos dirigidos. Se realizarán en la modalidad individual sobre tópicos especiales de acuerdo con el eventual tema de tesis del estudiante. Las autoridades del programa aprobarán el programa de cada curso dirigido a propuesta del profesor correspondiente. Su intensidad semanal será de cuatro horas.

Seminarios doctorales. Tienen como propósito central la preparación del proyecto de tesis. Su duración semanal será de cuatro horas. Estos seminarios pueden constituirse en un medio apropiado para que investigadores, empleados y técnicos de la industria y de los centros de desarrollo tecnológico planteen experiencias y problemas que contribuyan a enriquecer el repertorio de temas de tesis, y faciliten así el cumplimiento de la responsabilidad atribuida a los Comité de Tesis definidos en el capítulo 8.

Asignaturas. Dado el acento en el desarrollo tecnológico que caracteriza a los programas doctorales propuestos, y reconociendo la importancia de una cultura gerencial para aquellos investigadores interesados en la innovación y la tecnología industrial, las cuatro asignaturas del plan de estudios podrían incluir temas como gerencia del conocimiento, gestión tecnológica, gerencia de proyectos, negocios internacionales, aspectos financieros, economía colombiana, etc. También sería posible sustituir parcialmente estos cursos o eliminarlos, si el estudiante puede acreditar, mediante un examen, conocimientos suficientes en esa temática gerencial. Su duración semanal sería de cuatro horas.

12

FINANCIACION

Es imperativo tener en cuenta que las universidades no cuentan con recursos suficientes para iniciar una marcha dinámica hacia los doctorados en ingeniería. La existencia de sólo un programa doctoral en ingeniería en Antioquia, pone de presente lo que puede pasar si el asunto se deja al actual crecimiento inercial de la academia, dados los altos costos y los recursos escasos para programas de esa envergadura.

La concertación que se ha propiciado entre la Academia, el Sector Productivo y el Gobierno, ha pretendido al mismo tiempo promover compromisos de carácter económico por parte de los actores convocados por la iniciativa del Doctorado en Ingeniería.

La cuantía de la financiación requerida será el resultado de establecer presupuestos anuales detallados por un período de diez años y con destino a los siguientes rubros:

- Capacitación de personal docente y de la industria.
- Requerimientos de equipos y documentación
- Necesidades de cooperación internacional
- Becas para los estudiantes de posgrado, de modo que quienes las requieran puedan atender su actividad con dedicación de tiempo completo.

Los presupuestos mencionados serán el resultado de inventariar las necesidades a la luz de los cronogramas para el desarrollo de programas doctorales, y de programas de maestría que culminen en programas doctorales. El escenario de trabajo adecuado para definir los cronogramas, inventariar las necesidades y señalar los requerimientos financieros es el propuesto Año de la Ingeniería, cuyo contenido y alcance se discute en el capítulo 13 de este informe. La responsabilidad de elaborar los presupuestos anuales correspondería al Comité Académico contemplado en el capítulo 8.

La necesidad de recursos frescos para financiar actividades de cierta escala, exige el diseño de significativos mecanismos financieros, con respecto lo cual se presentan las siguientes alternativas:

Fondo Regional

Se constituiría con aportes gubernamentales, empresariales y universitarios.

Con respecto a las entidades gubernamentales, se esperaría que al Fondo contribuyesen el Departamento de Antioquia, el Municipio de Medellín y algunas entidades del orden nacional como Colciencias. Sería del caso explorar la posibilidad de que el SENA aportase mediante lo permitido por Ley, según se expone más adelante.

La contribución empresarial podría utilizar los beneficios fiscales de que también se habla posteriormente.

El aporte de las universidades estaría constituido por recursos adicionales, destinados específicamente a los programas de posgrado objeto de concertación.

La promoción y manejo del Fondo estarían a cargo de los mecanismos que se discuten en el capítulo 8 del presente informe.

Empréstito

Sería la forma más estable para garantizar el funcionamiento a largo plazo y a gran escala de las diversas actividades, y podría gestionarse con alguna entidad multilateral de crédito como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o el Banco Mundial. Dada la grave crisis fiscal del gobierno nacional, se propone un esquema como el siguiente:

Partida: 60%

Contrapartida universidades: 10%

Contrapartida empresas productivas públicas y privadas: 30%

En atención a que el reembolso de la partida puede contar con un período de gracia y amplio plazo, los desembolsos del gobierno sólo empezarían después de un eventual despeje del actual panorama fiscal.

Los recursos de contrapartida deberán contar con el aval del gobierno nacional.

Se efectuó un primer contacto con el Dr. Jaime Millán, economista principal del Banco Interamericano de Desarrollo, quien fue informado del avance del presente estudio y quien ofreció su colaboración en Washington para discutir posibilidades de colaboración tanto con el BID como con el Banco Mundial.

EMPRESTITO BID-COLCIENCIAS. Según informe del Departamento Nacional de Planeación, están en pie las negociaciones para una nueva etapa de empréstito entre el Banco Interamericano de Desarrollo y Colciencias, esta vez orientada a propiciar la innovación en el sector productivo colombiano. Dada la índole de los Doctorados en Ingeniería que se proponen, ese eventual empréstito podría beneficiar sustancialmente las actividades consideradas.

También debe explorarse las posibilidades de apoyo por parte de la Unión Europea o de otros países industrializados del mundo.

Fuentes existentes

Es muy conveniente aprovechar los mecanismos existentes para la financiación de proyectos relacionados con la investigación y la innovación.

Los “Programas de apoyo a la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector productivo colombiano” [Colciencias, 1998a] consideran que los siguientes tipos de proyecto califican para financiamiento:

Proyectos de investigación y desarrollo tecnológico
Proyectos de capacitación en nuevas tecnologías
Proyectos de mejoramiento continuo y gestión tecnológica
Proyectos de sistemas de información

Para el financiamiento de lo anterior, se cuenta con las siguientes modalidades:

-LINEA INSTITUTO DE FOMENTO INDUSTRIAL-COLCIENCIAS. Son préstamos para empresas grandes, de reembolso obligatorio, aunque si la empresa cuenta con el Certificado de Elegibilidad Tecnológica, Colciencias podrá prepagar un porcentaje del crédito aprobado.

-COFINANCIACION ENTRE COLCIENCIAS Y EL BENEFICIARIO. Las empresas pueden contratar o formar consorcios de innovación con universidades, centros de investigación o centros tecnológicos. Colciencias financia con fondos no reembolsables el costo correspondiente a la participación de la universidad o centro por un monto equivalente hasta el 50% del valor total del proyecto para las grandes empresas, y hasta el 70% para pequeñas y medianas empresas (Pymes).

-RECURSOS DEL SENA. La Ley 344 de 1996 señaló que el SENA destinará el 20% de los aportes que recibe por las nóminas al desarrollo de programas de competitividad y desarrollo tecnológico productivo, programas que podrá desarrollar directamente o mediante convenios en aquellos casos que se requiera la participación de otra entidad o centro de desarrollo tecnológico.

-ESTIMULOS TRIBUTARIOS. Existe un incentivo fiscal a las inversiones y donaciones destinadas a programas y proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, según la reforma tributaria contenida en la Ley 383 de 1997, gracias a la cual las personas jurídicas pueden deducir de su renta el 125% del valor invertido o donado.

-OTROS SERVICIOS DE APOYO. Se destaca el apoyo que Colciencias brinda a los industriales y demás personas que deseen convertirse en empresarios mediante dos tipos de organización: las incubadoras de empresas de base tecnológica, de las cuales ya existe la correspondiente a Antioquia, y los centros de desarrollo tecnológico, de los cuales ya existen varios en la región. Así mismo, la institución proporciona apoyo a los sistemas regionales de innovación, entre los cuales se cuenta el de Antioquia.

Con respecto a la factible financiación de Colciencias, cabe destacar la relación que tienen las áreas y líneas de investigación del Doctorado, propuestas en el capítulo 7, con los proyectos que pueden ser objeto de financiación dentro de los cuatro “Programas nacionales” de dicha entidad dirigidos a la innovación y el desarrollo empresarial [Colciencias, 1998b]:

Energía y Minería
Ciencia y Tecnología Agropecuaria
Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad
Electrónica, Telecomunicaciones e Informática

Finalmente, vale la pena señalar que recientemente se creó el FONDO DE INVERSIONES DE CAPITAL DE RIESGO (Incubadora, 1998), una sociedad anónima abierta que tiene por objeto invertir, en forma minoritaria y temporal, en el capital social de Pymes innovadoras y potencialmente rentables. Hacen parte del fondo, entre otras entidades, Colciencias, Corporación Innovar, Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Suramericana de Inversiones. En la actualidad se tramita, con buenas perspectivas, una propuesta de capitalización con el Fondo Multilateral de Inversiones del Banco Interamericano de Desarrollo.

13

AÑO DE LA INGENIERIA

Las actividades de largo alcance que se proponen en el presente informe requieren un período de preparación, concertación y puesta a prueba de mecanismos de cooperación. En este sentido, la idea de realizar un Año de la Ingeniería buscaría el cumplimiento de varios propósitos principales:

-Acercar mediante el trabajo conjunto que se describe más adelante a los diversos participantes convocados para llevar a cabo la iniciativa de los Doctorados en Ingeniería: universidades, industria, centros de desarrollo tecnológico, entidades gubernamentales.

-Precisar las actividades que, una vez cumplido el Año, permitirían empezar en firme las actividades de dicha iniciativa.

-Difundir entre las gentes del departamento y el país el esfuerzo conjunto que se ha concebido para que la ingeniería desempeñe un papel importante en el fortalecimiento académico y el desarrollo tecnológico del sector productivo

Resultados deseables

Además del valor intrínseco que tendrían las actividades del Año de la Ingeniería, se esperaba que a lo largo del mismo, y utilizando los mecanismos señalados en el capítulo 8, se obtuviese definiciones al respecto de:

-Precisión sobre contenido y alcance de las áreas y líneas de investigación propuestas en el capítulo 7.

-Sugerencia sobre asignación de responsabilidades a las diferentes universidades participantes en lo tocante a los programas de posgrado que deben llevarse a cabo.

-Cronogramas para la iniciación de programas de Doctorado, o de Maestría que posteriormente conduzcan al Doctorado, en las diferentes áreas y líneas.

-Inventario de las necesidades de capacitación, tanto de miembros de la universidad como de la industria, para poder cumplir los cronogramas anteriores.

-Idem de necesidades de equipos y documentación.

-Programa y recursos económicos indispensables para la cooperación internacional.

-Necesidades de becas para los estudiantes de posgrado.

Este ejercicio debería conducir a la elaboración de presupuestos anuales para un período de diez años.

Actividades del Año

A lo largo del período propuesto es importante llevar a cabo una serie de actividades como las siguientes, todas las cuales deberían tener una duración no superior al año:

PROYECTOS. Bien se sabe que los proyectos constituyen un medio excelente para crear y fortalecer la interacción entre participantes de origen diverso. Se escogería temas de interés común para la academia y la empresa, con la participación de estudiantes destacados de la región.

SEMINARIOS. Se centrarían en problemas que exigen un conocimiento avanzado y se diseñarían por equipos de trabajo de académicos y empresarios, eventualmente con la participación de centros de desarrollo tecnológico. En algunos casos podría invitarse a expertos internacionales que colaborasen en la formulación de nuevos proyectos de investigación.

CURSOS DE UN AÑO. Teniendo en cuenta los diversos programas de Maestría y Doctorado que existen, se buscaría organizar una serie de cursos que fuesen útiles para los estudiantes de dichos programas y que pudiesen acreditarse con independencia de la entidad que los realizase. Por ejemplo, se podría diseñar un conjunto de cursos relacionados con ciencias básicas para apoyar las áreas de ingeniería de la iniciativa de los Doctorados.

CURSOS CORTOS. De una semana o dos, con la participación de expertos nacionales y del exterior, con el fin de reforzar o complementar programas existentes.

PROGRAMAS DE ESPECIALIZACION. Se ocuparían de problemas o temas específicos, identificados por académicos y empresarios, y en los cuales participarían personas de las empresas y estudiantes de la región. Se buscaría diseñar especializaciones que fuesen de interés para más de una empresa y que en lo posible contasen con la contribución de profesores de más de una universidad.

Un antecedente significativo en este tipo de actividad es el programa de especialización en Gestión Ambiental, con énfasis en proyectos energéticos, emprendido por la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín en alianza con la empresa Interconexión Eléctrica. Una de sus tareas centrales es formar profesionales capacitados para responder a los requerimientos de la gestión ambiental en el desarrollo energético.

Cuenta con diez becas ofrecidas por la empresa mencionada y a las cuales pueden aspirar graduados del país o provenientes del exterior.

SIMPOSIO DE INGENIERIA. Este sería el espacio dedicado a socializar los aspectos más técnicos de los programas académicos. Serviría como punto de encuentro entre las diferentes áreas, y al mismo tiempo podría permitir un seguimiento del programa anual y eventualmente el diseño de etapas subsiguientes.

Tres consideraciones finales: como se explicó en el capítulo 8, el Comité Académico allí considerado tendría la responsabilidad de programar el Año de la Ingeniería; este mismo Comité debería establecer el presupuesto respectivo, cuya financiación tendría que ser promovida por el Comité de Coordinación indicado en el mismo capítulo; y como es fundamental la participación de los estudiantes en todas las actividades, es del caso contar con un fondo de becas que permita la vinculación de los mejores estudiantes de la región y que se definiría contando con la naturaleza de las varias actividades.

REFERENCIAS

Nota. Los documentos y publicaciones que se citan a continuación fueron reunidos durante la realización del presente estudio, y en su mayoría reposan en el centro de documentación de Proantioquia.

ACOFI-ICFES, 1996a, *Actualización y modernización del currículo en ingeniería mecánica*, Bogotá, agosto

ACOFI-ICFES, 1996b, *ídem ingeniería industrial*, Bogotá, septiembre

ACOFI-ICFES, 1996c, *ídem ingeniería eléctrica-electrónica*, Bogotá, septiembre

ACOFI-ICFES, 1996d, *ídem ingeniería civil*, Bogotá, septiembre

ACOFI-ICFES, 1996e, *ídem ingeniería química*, Bogotá, septiembre

ACOFI-ICFES, 1997, *ídem ingeniería de sistemas*, Bogotá, mayo

Arboleda, J., 1997, *Planteamiento de un sistema regional de innovación para Antioquia*, Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Medellín, febrero

Colciencias, 1995, *Política de regionalización de la ciencia y la tecnología*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Bogotá, noviembre

Colciencias, 1996, *Implantación de la estrategia de centros de desarrollo tecnológico*, Bogotá, noviembre

Colciencias, 1998a, *Programas de apoyo a la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector productivo colombiano*, Bogotá, enero

Colciencias, 1998b, *Programas nacionales – Información básica sobre financiación de proyectos*, Subdirección de Innovación y Desarrollo Empresarial, Bogotá, febrero

Conferencia mundial sobre educación en ingeniería, 1995, St. Paul, Minnesota, Estados Unidos, octubre

Conferencia mundial sobre educación en ingeniería y líderes de la industria, 1996, París, Francia, julio

Cooperación interuniversitaria, 1993, *Convenio entre las universidades Pedagógica Nacional, de Antioquia, del Valle, Nacional e Industrial de Santander para organizar y ejecutar de manera conjunta un programa de Doctorado en Educación*, Bogotá, octubre

Corpes de Occidente, 1996, *Estudio de la capacidad tecnológica de la industria manufacturera del occidente colombiano*, página 100, Pereira

CTA, 1997, *De las ideas a la realidad*, Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Medellín, diciembre

CTA, 1998, Misión del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, *Información corporativa*, www.cta.org.co, Medellín

Denning, Peter J., 1992, *Educating a new engineer*, Communications of the ACM, vol. 35, No. 12, diciembre

Incubadora, 1998, ver sitio Web de la Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia, www.incubadora.org.co, Medellín

NSF, 1998, *Engineering: The Long View*, ver el sitio Web de la National Science Foundation de los Estados Unidos, www.nsf.gov, en especial lo relativo al Engineering Directorate

Parque Tecnológico de Antioquia, sin fecha, *Un proyecto de concertación entre los actores del desarrollo*, Medellín

Parque Tecnológico de Antioquia, 1998, *Mirada al Parque Tecnológico desde su gestación en 1996 hasta junio de 1998*, Medellín, junio

Periódico El Colombiano, 1998a, *Industriales urgen mejores condiciones de crecimiento*, 25 de marzo, pág. 2B

Periódico El Colombiano, 1998b, editorial “*La desindustrialización en marcha*”, 17 de mayo, pág. 5ª

PNUD, 1998, *Educación – La Agenda del Siglo XXI – Hacia un desarrollo humano*, Hernando Gómez Buendía, Director, PNUD y Tercer Mundo Editores, Bogotá

Revista Semana, 1998, No. 836, 11-18 de mayo

Universidad Nacional, 1989, *Propuesta de programas de especialización y doctorado en aprovechamiento de recursos hidráulicos*, Facultad de Minas, Medellín

Universidad Nacional, 1991, *Acuerdo No. 15 del Consejo Académico por el cual se aprueba el plan de estudios del programa académico de Doctorado en Ingeniería*, Bogotá, octubre

Vest, Charles M., 1997, *Stewards of the future – The evolving roles of academy, industry and government*, Discurso del presidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts en la ceremonia de graduación de 1997, Technology Review, Revista del Instituto Tecnológico de Massachusetts, noviembre-diciembre