

El programa de postgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos

Por: Luis Fernando Múnera López*

1. RESUMEN

La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional de Medellín, ofrece el programa de postgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, orientado a otorgar el título de Magister. Este programa cuenta con el apoyo del "Proyecto ICFES - BID para el Desarrollo de la Capacidad de Investigación en Colombia".

El postgrado se orienta a formar investigadores y especializar profesionales en el campo de los recursos hidráulicos, para satisfacer necesidades del país en esa área. Así mismo, busca fomentar la investigación aplicada mediante la integración de esfuerzos de la Universidad con las entidades del sector público y privado que se encargan del aprovechamiento de los recursos de agua en Colombia.

El plan académico del postgrado se desarrolla en tres semestres académicos y permite al estudiante capacitarse en una de las cuatro áreas de investigación las cuales se han identificado como prioritarias en el campo de estos recursos.

2. INTRODUCCION

La Facultad Nacional de Minas, fundada en 1887, es uno de los establecimientos con más trayectoria dedicados a la formación de ingenieros en el país. Desde su creación se ha preocupado por capacitar profesionales para la utilización adecuada de los recursos hidráulicos, inicialmente orientados hacia la explotación minera. Esta labor se amplió a los desarrollos hidroeléctricos, al suministro de agua para las comunidades y al control de las corrientes de agua cuando en 1911 la Facultad empezó a ofrecer la carrera de Ingeniería Civil. El estudio de los recursos de agua se ha profundizado en la Facultad en las últimas décadas, especialmente a partir de 1954, fecha en que se inició la construcción de su Laboratorio de Hidráulica. Como consecuencia de lo anterior y de la labor de su personal docente y de sus egresados, a la Facultad Nacional de Minas se le considera como entidad pionera en los estudios de hidrología y en la aplicación del análisis de sistemas al desarrollo de los recursos de agua en Colombia.

En la actualidad se desarrolla en ella una intensa actividad en ese campo, mediante la docencia en las áreas de hidrología, la investigación aplicada, la realización de seminarios con participación de expertos de diferentes países y la intervención en eventos de carácter nacional e internacional. Enorme importancia ha obtenido así mismo, la labor

desarrollada por su Laboratorio de Hidráulica "Jairo Muriel", en estudios e investigaciones sobre la modelación de estructuras y sistemas hidráulicos, que se han realizado para diferentes entidades dedicadas al manejo de los recursos hidráulicos, en particular las empresas del sector eléctrico, en el país.

Los recursos hidráulicos son abundantes en Colombia y su adecuado aprovechamiento es parte fundamental del desarrollo nacional. Las entidades oficiales y la ingeniería nacional están llamadas a desarrollar una intensa y permanente labor para determinar las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas, estimar las demandas futuras del recurso de acuerdo con el crecimiento del país, señalar los proyectos de orden prioritario, corregir los conflictos de orden institucional y político y, fundamentalmente, articular integralmente el aprovechamiento de los recursos hidráulicos con el desarrollo nacional, para lo cual necesitan el concurso de suficientes profesionales e investigadores ampliamente capacitados. Apoyada en su amplia experiencia académica e investigativa, la Facultad Nacional de Minas le ofrece al país el programa de postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, como un medio eficaz para la formación de los especialistas requeridos y para el fomento de la investigación aplicada en el ámbito de los recursos de agua.

El programa se ofrece para profesionales que por su formación académica, su campo de trabajo y su vocación profesional tengan una alta afinidad con el campo de los recursos hidráulicos y en particular con las áreas de especialización prioritarias del postgrado.

El programa entrará en funcionamiento a partir de agosto de 1984, y otorgará el título de Magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.

3. OBJETIVOS

Los objetivos principales del programa son los siguientes:

- a. Formar investigadores que contribuyan a un mejor conocimiento de los recursos de agua del país, al planeamiento de su desarrollo y al manejo de los mismos.
- b. Especializar profesionales que atiendan los proyectos nacionales y regionales de aprovechamiento y manejo de recursos hidráulicos.
- c. Capacitar profesores universitarios que incrementen y mejoren el trabajo docente e investigativo en el área en todo el país.
- d. Permitir y fomentar la interacción entre la Universidad y entidades públicas y privadas para el desarrollo de estudios e investigaciones y para el intercambio de experiencias.

* Ex-director Académico del Postgrado
Profesor Asistente de la Universidad Nacional



cias sobre disciplinas relacionadas con el campo de los recursos hidráulicos.

- e. Proyectar la experiencia de la Facultad hacia entidades públicas y privadas en lo referente a la investigación, planeación, desarrollo y administración de recursos hidráulicos, sobre la base de un trabajo académico avanzado.

4. AREAS DE INVESTIGACION

El programa de postgrado se orienta a especializar al estudiante en una de las cuatro áreas básicas que se mencionan a continuación, y a promover la investigación aplicada en cada una de ellas, con especial énfasis en el caso colombiano.

- a. Planeamiento y Manejo de los Recursos Hidráulicos. Esta área comprende el estudio de la planeación, la optimización, el desarrollo y la administración de los sistemas de aprovechamiento de recursos de agua. Incluye el análisis de los aspectos institucionales, sociales, económicos y financieros que se relacionaron con esos aprovechamientos.
- b. Hidrología Estocástica. Esta área incluye lo relativo a la modelación probabilística de los procesos hidrológicos, el conocimiento de regímenes hidrológicos regionales y el tratamiento del problema de la información escasa.
- c. Sistemas Hidrológicos. Esta área se orienta al estudio de la interacción del agua con el clima y la geomorfología. En especial, se analizan los procesos del ciclo hidrológico que intervienen en las relaciones lluvia - escorrentía.
- d. Hidrología del Agua Subterránea. En esta área se estudian aspectos relacionados con la modelación de acuíferos, la interacción acuífero - río y el potencial del recurso de agua subterránea a nivel regional.

4.1. Area de Planeamiento y Manejo de los Recursos Hidráulicos.

El postgrado busca, con el área de planeamiento y manejo de los recursos hidráulicos, capacitar profesionales que se desempeñen en las tareas interdisciplinarias que conforman el proceso de desarrollo de esos recursos. Estas tareas pueden resumirse de la siguiente manera, agrupadas según las etapas principales del desarrollo de los recursos de agua.

a. Etapa de planeación. En esta etapa se identifican las necesidades de la comunidad que deben satisfacerse con los recursos hidráulicos, se cuantifican y evalúan los recursos disponibles y se estudian las diferentes alternativas de desarrollo que permiten satisfacer esas necesidades con esos recursos. En esta labor tiene especial importancia la comparación de costos y beneficios para todas las alternativas. Como resultado, se obtiene la identificación y selección de la alternativa más recomendable.

b. Etapa de diseño. Es esta etapa se identifican y dimensionan detalladamente los sistemas y las obras que conforman la alternativa seleccionada en la etapa anterior.

c. Etapa de construcción. Consiste ésta en la ejecución de las obras necesarias para el aprovechamiento del recurso.

d. Etapa de operación. Después de terminadas las obras que conforman el aprovechamiento, el sistema así constituido debe administrarse y manejarse de tal manera que se satisfagan óptimamente las necesidades para las cuales se desarrolló.

Puede observarse que todo el proceso descrito supone un trabajo altamente interdisciplinario, en el cual intervienen aspectos de ingeniería, de economía y de relaciones interinstitucionales o políticas dentro de la comunidad, todos los cuales deben manejarse de tal manera que se obtenga el máximo beneficio con el mínimo costo.

Debe aclararse que los conceptos de beneficios y costos se entienden aquí en su sentido más amplio y no solamente en el sentido económico.

4.2. Area de Hidrología Estocástica

Los fenómenos hidrológicos son procesos eminentemente aleatorios (este término es sinónimo de estocástico o probabilístico). Para respaldar esta afirmación es suficiente tener en cuenta que en la producción de cada una de las fases del ciclo hidrológico (precipitación, infiltración, evaporação, transpiración, flujo subterráneo, flujo base, flujo superficial) intervienen múltiples variables climatológicas, meteorológicas y geomorfológicas cuya magnitud y cuyo efecto en el proceso total no son predecibles ni predeterminables de una manera precisa.

Sin embargo, por otro lado, cabe aclarar que no todo el proceso hidrológico es aleatorio. El fenómeno conocido como "persistencia" implica que en las variables hidrológicas existe (en mayor o menor grado) una correlación interna a través del tiempo. Existen además correlaciones a través del espacio, que hacen posible regionalizar algunas variables hidrológicas. Estas manifestaciones de persistencia y regionalización en la hidrología permiten también analizar esas variables y fenómenos, al menos parcialmente, de una manera determinística.

Desde la década de 1960 se han desarrollado y perfeccionado en la hidrología los llamados modelos estocásticos. Estos modelos describen, representan, reproducen y preservan las propiedades aleatorias y determinísticas de las series hidrológicas, si bien no describen los fenómenos bajo el punto de vista de sus causas y manifestaciones físicas.

El postgrado busca con el área de hidrología estocástica capacitar profesionales e investigadores para la adecuada comprensión de las propiedades aleatorias y determinísticas de la hidrología y para la aplicación de los modelos estocásticos al desarrollo de los recursos hidráulicos.

4.3. Área de Sistemas Hidrológicos

El estudio de los procesos físicos de la hidrología, vale decir de la interacción del agua con la atmósfera y con el suelo a través de las diferentes etapas del ciclo hidrológico, constituye uno de los soportes de la ingeniería de recursos hidráulicos. En particular la comprensión de esos procesos es importante para la cuantificación del recurso agua, para la evaluación de la calidad del mismo y para el estudio de su distribución en el tiempo y en el espacio. En otras palabras, la determinación de los parámetros básicos para el diseño de las obras y los sistemas de aprovechamiento y control de recursos hidráulicos, tales como los caudales máximos, promedios y mínimos que se obtienen de una cuenca, se fundamenta en el adecuado conocimiento que se tenga de los procesos hidrológicos.

El postgrado busca fomentar la investigación y la capacitación profesional en hidrología, aplicada a los recursos hidráulicos. En particular, el área de sistemas hidrológicos se orienta al estudio de la identificación, formulación y calibración de los modelos más adecuados para representar los fenómenos hidrológicos, a la luz de las condiciones particulares que presentan la climatología, la meteorología y la geomorfología regionales en Colombia.

4.4. Área de Hidrología del Agua Subterránea

En algunas regiones del país las aguas subterráneas constituyen el principal y a veces único recurso hidráulico disponible. Sin embargo, comparativamente con su importancia ha sido realmente poco el trabajo que en general se ha hecho en el país en investigación de este recurso bajo el punto de vista de su cantidad, calidad, distribución y condiciones de aprovechamiento. Se excluyen de esta afirmación las tareas que en ese sentido adelantan el INGEOMINAS y otras entidades de orden regional como la CVC, al igual que el trabajo académico y de extensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá.

Con el área de hidrología del agua subterránea el postgrado busca fomentar la investigación sistemática en ese



campo y capacitar profesionales que se enfrenten a los problemas relacionados con la exploración y la prospección de acuíferos y su adecuada explotación.

5. PLAN ACADEMICO

El plan de estudios del postgrado se desarrolla en tres semestres académicos, de acuerdo con la distribución de asignaturas, seminarios y trabajo de tesis que se presenta a continuación.

Primer Semestre

Asignaturas (Comunes para todas las áreas)	Horas por semana
Sistemas de Recursos Hidráulicos	3
Análisis y Síntesis de Procesos Hidrológicos	3
Hidrología Aplicada	3
Flujo en Medios Porosos I	3
Seminario I	Variable

Segundo Semestre

Asignaturas Área de Planeamiento y Manejo de los Recursos Hídricos	Asignaturas Área de Hidrología Estocástica	Asignaturas Área de Sistemas Hidrológicos	Asignaturas Área de Hidrología Subterránea	Horas por Semanas
Gestión de Recursos Hídricos	Ánalisis Estadístico en Hidrología	Hidrología Dinámica I	Flujo en Medios Porosos II	3
Economía de los Re- cursos Hídricos	Series Cronológicas	Hidrología Dinámica II	Prospección y Explotación de Acuíferos	3
Planificación Integral de Cuencas	Electiva	Electiva	Electiva	3
Seminario II	Seminario II	Seminario II	Seminario II	Variable

Tercer semestre

Asignaturas (Específicas para cada área)	Horas por semana
Electiva Trabajo de Tesis	3 Variable



Cada estudiante que se matricula en el postgrado selecciona una de las áreas de investigación del programa, a la cual se le asigna desde su admisión. El trabajo académico de carácter avanzado y la realización de investigaciones en el programa requieren que los estudiantes mantengan una disponibilidad de tiempo completo para este postgrado. A cada estudiante se le asigna un profesor consejero que lo asesora en el desarrollo de su trabajo.

Las materias enunciadas en la distribución anterior son obligatorias para los estudiantes asignados a la respectiva área. Las materias electivas se seleccionan por parte de los estudiantes de acuerdo con su profesor consejero.

Los Seminarios I y II consisten en trabajos teóricos o teórico-prácticos realizados por grupos de estudiantes bajo la dirección de profesores especialistas en cada área. El Seminario I se orienta al análisis de proyectos o estudios anteriores y a la revisión de su bibliografía. En el Seminario II los estudiantes, guiados por su profesor consejero, definen su tema de tesis dentro de su área de especialización y avanzan en la revisión crítica de la bibliografía correspondiente y en la programación del trabajo respectivo.

El trabajo de tesis, obligatorio para todos los estudiantes matriculados en el programa, tiene carácter teórico o teórico-aplicado, según cada caso. Cada una de las tesis debe tener carácter investigativo y presentar un aporte original en el área respectiva.

6. RESUMEN DE ASIGNATURAS

A continuación se presenta una síntesis de los objetivos generales de cada una de las asignaturas obligatorias y de algunas asignaturas electivas incluidas en las diferentes áreas de investigación del programa.

6.1. Área de Planeamiento y Manejo de los Recursos Hidráulicos.

- Sistemas de Recursos Hidráulicos. Presenta las principales técnicas de optimización y simulación aplicadas al aprovechamiento de recursos de agua.
- Gestión de Recursos Hidráulicos. Analiza el marco legal, administrativo e institucional para el desarrollo de los recursos de agua.
- Expansión y Operación de Sistemas Eléctricos. Estudia algunas técnicas para el planeamiento de la expansión y operación de los sistemas de generación eléctrica.
- Evaluación de Proyectos Hidroeléctricos. Presenta las técnicas y metodologías para evaluar y comparar proyectos del sector eléctrico.
- Economía de los Recursos Hidráulicos. Analiza los factores económicos, financieros y sociales que intervienen en la evaluación de costos y beneficios de los proyectos de aprovechamiento de los recursos de agua.
- Planificación Integral de Cuencas. Estudia los concep-

tos básicos para la ordenación y manejo de una cuenca como un medio físico, económico y social.

6.2 Área de Hidrología Estocástica

- Análisis y Síntesis de Procesos Hidrológicos. Estudia los principales modelos estocásticos desarrollados para el manejo de series hidrológicas.
- Análisis Estadístico en Hidrología. Presenta la aplicación de herramientas avanzadas de estadística y probabilidades al análisis de los procesos hidrológicos.
- Series Cronológicas. Estudia la teoría general de las series cronológicas, con énfasis en su análisis y modelación.

6.3 Área de Sistemas Hidrológicos.

- Hidrología Aplicada. Presenta algunas técnicas prácticas para el análisis de los procesos hidrológicos y para la determinación de eventos de precipitación y escorrentía que rigen el diseño de obras y sistemas hidráulicos.
- Hidrología Dinámica I. Analiza algunas técnicas de inferencia hidrológica a partir de información geomorfológica y climática.
- Hidrología Dinámica II. Estudia en forma avanzada las componentes hidrológicas con énfasis en las implicaciones sobre las decisiones técnicas y económicas de obras y sistemas hidráulicos.
- Limnología. Estudia los regímenes hidrológicos de lagos, ríos y embalses. Incluye la evaluación de alteraciones en los regímenes por obras artificiales (embalses y derivaciones).
- Hidrometeorología. Presenta el análisis avanzado de los procesos hidrometeorológicos y su medición.

6.4 Área de Hidrología Subterránea

- Flujo en Medios Porosos I. Estudia los elementos de la hidráulica del agua subterránea.
- Flujo en Medios Porosos II. Analiza los problemas relacionados con el transporte de sustancias disueltas y su dispersión en medios porosos. Introduce aspectos geotérmicos relacionados con agua subterránea.
- Prospección y Explotación de Acuíferos. Presenta las técnicas de identificación, reconocimiento, prospección y explotación de acuíferos.
- Modelos en Hidrología Subterránea. Estudia las ideas fundamentales sobre modelación de acuíferos, con énfasis en la aplicación a la hidrogeología regional.

7. ORGANIZACION Y RECURSOS

La dirección académica del postgrado está a cargo del Comité Asesor del Programa y el Director Académico. La administración del programa la ejerce la Facultad Nacional de Minas.

El cuerpo de profesores del postgrado está conformado por especialistas nacionales y extranjeros poseedores de título de Magister o Doctor en el área de los recursos de agua, con sobresaliente experiencia profesional o docente.

Para el desarrollo de las investigaciones del postgrado se cuenta con modernos equipos de computador así como equipos geoeléctricos para prospección de acuíferos, destinados a todos en forma exclusiva a la investigación. Así mismo se cuenta con el apoyo de diversos laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia en las áreas de ingeniería hidráulica, ingeniería sanitaria, ingeniería de suelos, ingeniería eléctrica, ingeniería química, y otras, que permiten un trabajo interdisciplinario en la investigación de recursos hidráulicos.

Están también disponibles la biblioteca, auditorio, sistemas audiovisuales y otras ayudas docentes de la Facultad Nacional de Minas. Estas se reforzarán con biblioteca y hemeroteca especializada para el postgrado.

8. LA INVESTIGACION EN EL POSTGRADO

El trabajo académico avanzado del programa de postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos tiene como uno de sus principales objetivos la investigación aplicada. Los proyectos de investigación pueden ejecutarse directamente por parte del profesorado, por parte de los estudiantes como trabajos de tesis o dentro de las asesorías especializadas que puede contratar la Universidad.

Los proyectos de investigación deben definirse de acuerdo con necesidades que existan en el medio profesional y

académico. Por esta razón, la existencia de este programa constituye una coyuntura muy favorable para el intercambio de servicios, información y experiencias entre la Universidad y las entidades vinculadas al desarrollo de los recursos de agua en el país, con el objeto de promover y realizar investigaciones. Es altamente deseable y provechoso para ambas partes que se establezcan convenios amplios de cooperación con esa finalidad entre dichas entidades y la Universidad.

9. CONCLUSIONES

Con base en la información que se ha presentado acerca del programa de postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, se destacan los puntos siguientes:

- a. El programa procura la capacitación y especialización de investigadores, profesionales y profesores universitarios para el desarrollo de los recursos de agua.
- b. Con el programa se estimula la investigación aplicada en ese campo en el país.
- c. El programa ofrece cuatro áreas prioritarias de investigación identificadas de acuerdo con las necesidades principales que existen en el medio académico y profesional.
- d. El programa constituye una coyuntura favorable para el intercambio de servicios, información y experiencias orientadas a investigación entre la Universidad y las entidades vinculadas al desarrollo de los recursos hidráulicos en el país, para lo cual pueden establecerse convenios amplios de cooperación.



ARQUITECTOS E INGENIEROS ASOCIADOS LTDA.

Calle 19 No. 42-152

Teléfonos: 232 62 16 y 232 73 28

Apartado Aéreo 51793
Medellín - Colombia