

# **LA FORMACION DEL INGENIERO HIDRAULICO**

**Prof. Dr. Helmut Kobus<sup>1</sup>, Prof. Dr. Erich Plate<sup>2</sup>,  
Prof. Hsieh Wen Shen<sup>3</sup>, Dr. Andreas Szöllösi-Nagy<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, D-70550 Stuttgart

<sup>2</sup>Inst für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, D-76128 Karlsruhe

<sup>3</sup>Dept. of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA 94720, USA

<sup>4</sup>Director of the Div. of Water Sciences UNESCO-IHP F-75700 Paris.

*(Traducción del original "Education of Hydraulic Engineers", publicado en el Journal of Hydraulic Research por la International Association of Hydraulic Research -IAHR-, Volumen 32, Número 2 de 1994, publicado con el permiso de los editores)*

**RESUMEN:** En este artículo un comité de expertos pertenecientes a las asociaciones AIHR (Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas) y UNESCO, con una reflexión común presentan los recientes desarrollos en Ingeniería Hidráulica y sus aplicaciones para la formación de ingenieros hidráulicos. Las estructuras de las disciplinas fundamentales subyacentes, geociencias y ciencias de la ingeniería y la gran variedad de asignaturas de ingeniería envueltas deben ser consideradas en el contexto más general del entorno natural y social. Además de los temas tradicionales, la ingeniería hidráulica ha evolucionado para tener en cuenta la calidad del agua, el medio ambiente y la ecología, rodeados por nuevos cambios caracterizados por la necesidad de un desarrollo sostenido y por el comportamiento de los cambios globales. Los nuevos desarrollos en ciencias y tecnología, así como la informática, deben reflejarse en los contenidos y métodos de enseñanza. La educación debe ofrecer una especialización y metodología así como una preparación profesional, incluyendo la facultad para trabajar en equipos interdisciplinarios. A la vista de estos desarrollos, la educación continua jugará un papel primordial, siendo mayor su importancia en los grandes sistemas y en problemas a escala internacional. Estos avances exigen una adecuada implicación de la AIHR.

## **INTRODUCCION**

La ingeniería hidráulica ha servido a la humanidad a través de los años, abasteciéndola de agua potable y arbitrando medidas de protección contra inundaciones y tormentas. En el transcurso de la historia, siempre se ha aprovechado el agua como fuente para usos humanos de todo tipo.

El control del agua mundial es una compleja tarea, y su ámbito e importancia sigue aumentando. La población mundial que continua creciendo, junto con sus siempre crecientes necesidades de agua, contrasta con los limitados recursos hídricos. Por ello, las ambiciosas necesidades de suministro de agua a la humanidad, preservando al mismo tiempo las fuentes naturales mundiales lleva inevitablemente a conflictos. Las crecientes demandas en el suministro fijo de agua nos ha llevado a una evolución ininterrumpida de los

procedimientos envueltos en el manejo de los recursos hídricos, así como en la ciencia que los sustenta. Incluso los objetivos están evolucionando ante la necesidad de protección del medio ambiente, tanto ahora como en el futuro, lo que nos conduce a una ampliación en el ámbito de los proyectos concernientes. Los impactos de estos cambios serán inevitablemente reflejados en la forma en que los ingenieros hidráulicos se preparan para los cambios en el próximo siglo.

A la vista de estos acontecimientos, la *International Association for Hydraulic Research (IAHR)*, y la *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*, decidieron evaluar los actuales desarrollos en ingeniería hidráulica y sus implicaciones para la educación de los ingenieros hidráulicos. Ellos establecieron una reflexión común que se traduce en el presente artículo.

## DE LAS EPOCAS REMOTAS HACIA EL FUTURO

### La evolución de la ingeniería hidráulica

Desde el comienzo de la civilización, cuando el hombre se asienta en los fértiles valles y largos ríos, como el Nilo en el norte de África y el Yangtse en China, el desarrollo de los recursos hídricos ha sido una de las mayores tareas de la humanidad. La gente siempre ha dependido del desarrollo de sus recursos hídricos para sobrevivir en ambientes que a menudo experimentan sequías e inundaciones. Los ajustes en la irregularidad de los caudales de agua requerían grandes esfuerzos, e ingeniosas soluciones técnicas, normalmente para riego o protección frente a inundaciones. Durante siglos de pruebas, a veces fallidas, los ingenieros afinaban su destreza. La Ingeniería Hidráulica, en su forma empírica, está entre las más antiguas profesiones, y de su desarrollo han dependido muchas civilizaciones a través de los siglos, desde la antigüedad hasta los actuales trabajos de ingeniería.

En el transcurso del tiempo, la humanidad no solo ha usado y disfrutado las aguas del mundo para sus propósitos, sino que forzando a la naturaleza ha transformado desiertos en áreas fértiles de agricultura. Sin embargo, desafortunadamente, algunos exuberantes bosques se han convertido en desiertos. Muy recientemente nos empezamos a dar cuenta del poder que tenemos, y de como hemos usado ese poder para cambiar regiones enteras. Ahora el hábitat natural es tratado en más y más partes del mundo por una creciente población: la naturaleza no tiene defensas contra las talas indiscriminadas de bosques o contra el fuego voraz en el mundo subdesarrollado. La hora ha llegado para la formulación de una nueva escala de valores que considera no sólo las necesidades de la población actual sino también las de futuras generaciones. Estas eternas necesidades no son solo comida, agua y protección, sino además un medio ambiente limpio, sano y estético.

El reconocimiento de la amenaza a la humanidad y al mundo nos ha conducido a un nuevo camino para el desarrollo. Quizás el paso más fructífero está representado en el artículo "Nuestro futuro común" elaborado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (Brundtland et al., 1987). Este artículo es conocido como el "Brundtland Comisión", el cual repasa la parte correspondiente al desarrollo y crecimiento económico y asienta las bases para la acción mediante la promoción del concepto de unificación y desarrollo sostenido. Muestra que el desarrollo social y económico necesita no estar en conflicto con la protección del medio ambiente, de tal forma que la humanidad se ajuste a los requerimientos especiales impuestos por ese desarrollo sostenido. Se ofrece al mundo una dirección para el desarrollo, un camino hacia un futuro aceptable, y ello debe repercutir a todos los niveles políticos. Finalmente

hace referencia a la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (United Nations Conference on Environment and Development, UNCED) realizada en Rio de Janeiro en Junio de 1992.

Un control serio y efectivo de los recursos hídricos es el punto clave para el desarrollo sostenido. La "Brundtland Comisión" no reconoció específicamente la importancia del agua como algo vital, sino como un factor que impone límites al desarrollo. Sin embargo, esta omisión tan importante ha sido remediada a través de acciones tomadas en otras reuniones con similar orientación a la de Rio. Los detalles de como estas acciones pueden ser puestas en práctica en el mundo real están abiertos. Deben ser apoyadas por una completa aceptación a todos los niveles políticos, y mediante las contribuciones de muchos profesionales y científicos.

Ingenieros y científicos se enfrentan al reto del desarrollo sostenido, que consiste en la formulación de teorías que sean útiles para mantener y manejar nuestros recursos hídricos, y que deben presidir el diseño y la operación de los proyectos implicados. Estas tareas requieren de la unificación de la ingeniería tradicional con el medio ambiente pensando en soluciones equidistantes entre lo tradicional y lo innovativo. La metodología no puede modificarse repentinamente, pero sus objetivos y la filosofía básica diferirá de las prácticas tradicionales. Los educadores tienen el reto de actualizar sus asignaturas, basándolas en el medio ambiente y concienciar a sus alumnos de las consecuencias sobre el mismo. Las complejidades que surjan van a requerir probablemente de un enfoque dirigido a sistemas orientados. Los ingenieros hidráulicos deben servir como siempre las necesidades de sus clientes, pero esas necesidades deben tender a una integración de su trabajo en el ecosistema natural, y con la vista puesta en un futuro lejano y duradero.

### Impactos en la educación de la ingeniería

Los ingenieros hidráulicos a mediados de siglo eran una rama consolidada de los Ingenieros Civiles, cuyos miembros habían diseñado y construido algunas de las mayores estructuras jamás construidas; Son ejemplos, las presas "Hoover" y "Grand Coulee" en los Estados Unidos, y el proyecto "Dnepropetrovsk Hydropower" en la antigua Unión Soviética. Sus creaciones son apoyadas por científicos e ingenieros de reconocido prestigio quienes conforman un equipo de diseño que cumplen con sus necesidades. Los conceptos fundamentales procedían del conocimiento del movimiento de los fluidos ideales e incompresibles, y estos se extendían a experimentos y observaciones de las estructuras existentes para incluir las pérdidas de energía y los efectos de no uniformidad del flujo por medio de coeficientes empíricos. La experiencia colectiva de los ingenieros y las investigaciones en los laboratorios ha dado lugar a excelentes libros de texto.

Los profesores fueron capaces de proporcionar a sus estudiantes un área de conocimiento coherente y comprensible, suficiente para la mayoría de los problemas de diseño. El estado del arte en la ingeniería hidráulica a mediados de siglo está bien representada por importantes manuales que surgieron en esta década: Davis "Handbook of Applied Hydraulics" (Davis, 1952) en los Estados Unidos, y Schleicher "Handbuch des Bauingenieurwesens" (Schleicher, 1942) en Alemania, por nombrar sólo dos de ellos.

Sin embargo, por este tiempo las instituciones ya se habían dirigido a ingenieros hidráulicos más cualificados, integrando un enfoque basado en la mecánica de fluidos en la mayoría de los cursos. Los procesos que en el pasado se habían caracterizado por coeficientes experimentales también se investigaron analíticamente. El principal promotor de este período de cambio fue Hunter Rouse, con su libro "Engineering Hydraulics" con una amplia visión, diseñado y editado por él mismo. Ello estimuló un vigoroso desarrollo de la investigación en la hidráulica, cuyos resultados fueron utilizados por una comunidad científica en alza, particularmente a través de los esfuerzos de la "International Association of Hydraulic Research" y la "American Society of Civil Engineers".

Con la evolución de los ordenadores en los sesenta y setenta, se dio un fuerte impulso a la investigación fundamental. Inicialmente su aplicación se concentró tanto en modelos numéricos de complejos flujos hidráulicos estacionarios, como los transitorios en canales abiertos y aguas subterráneas. Pero pronto se reconoció su potencial para recopilación y análisis de datos, y sobre 1970 también se vio alterada la forma de investigar. Hoy en día continúa ejerciendo una fuerte influencia en todos los aspectos de la hidráulica, y su rango de aplicación, comprende desde los modelos de simulación de áreas complejas de flujo turbulento hasta el almacenaje y obtención de grandes cantidades de detallada información. Esto también alteró drásticamente los procesos de diseño y experimentación. Por otra parte el ordenador es la base de otro significativo avance en el campo de la ingeniería hidráulica: el reconocimiento y el manejo explícito de procesos aleatorios. El ingeniero hidráulico a través de la información de la hidrología natural y otras, ve como sus estructuras interactúan con los procesos naturales y como éstos se pueden manejar por medios estadísticos.

Los años sesenta fue un período de concienciación sobre el medio ambiente y las consecuencias sociales del desarrollo tecnológico. Los ingenieros hidráulicos tenían que aprender a desarrollar y trabajar con otros muchos aspectos externos de referencia. Conscientes del medio ambiente, de los efectos de las aguas frescas y las aguas negras en ríos y lagos y en las consecuencias en la flora y fauna de estas construcciones, desbordó el radio de acción de los hidráulicos y se estimuló una vigorosa actividad investigadora. La gente al igual que los ingenieros

hidráulicos están envueltos en una variedad de tareas que conlleva esta nueva concienciación. Ahora, el aún más reciente concepto de sostenibilidad está alterando ese ámbito de acción.

La respuesta lógica de la ciencia al incremento de la conciencia de la relación que se debía establecer entre ingenieros y economistas de una parte, y de la conflictividad entre las necesidades y los objetivos de la sociedad de otra, fue la emergencia en la planificación de los recursos hídricos como una disciplina formal. La planificación de los recursos hídricos en este sentido, incluye a los proyectos hidráulicos como parte de un gran proceso de planificación en el cual éste ocupa una importante etapa. Un claro y remarcable ejemplo práctico de este enfoque fue llevado a cabo por la afortunada planificación de sistemas de las Autoridades del Valle de Tennessee, entre los años treinta y cuarenta. La planificación de recursos hídricos se utilizó primeramente en estudios que afectaban a áreas con gran escasez de agua, proyectos de recursos hídricos financiados internacionalmente en los países desarrollados. Nos hemos dado cuenta de la necesidad de compartir esas experiencias adquiridas en estos proyectos, por lo que este desarrollo debería reflejarse en las carreras para ingenieros hidráulicos. Se necesita una habilidad especial para la planificación, construcción, operación, mantenimiento y manejo de estos grandes sistemas de gestión de los recursos hidráulicos..

Los ingenieros hidráulicos deben ser capaces de describir y cuantificar los procesos físicos en el medio ambiente, con la consideración de los efectos químicos o biológicos. Sus diseños deben incluir no solo las condiciones de diseño, tales como el máximo consumo o las inundaciones de diseño, sino también su comportamiento bajo una variedad de condiciones que ocurren de forma natural. Deben incorporar procesos de series de tiempo estocástico que permiten predecir los consumos, lo que lleva de forma natural a la necesidad de introducir la hidrología y la hidráulica como componentes interactivos en el proceso de diseño. Un trabajo sobre impacto medio ambiental requiere una gran riqueza de información, proveniente de otros campos de la ciencia, y por ello los ingenieros deben de actuar como parte en equipos donde se incluirían científicos, sociólogos y gerentes. Este cambio en los objetivos y en el enfoque al medio que nos circunda, debe de reflejarse en la forma en que las asignaturas se imparten a los ingenieros del futuro. Por tanto, se llama la atención del profesorado de ingeniería para que repasen y amplíen partes de sus programas de estudio.

Como resultado de la evolución precedente, la ingeniería hidráulica como hoy la vemos, representa un área científico-técnica que agrupa muchas ramas básicas y aplicadas de la ciencia, que pueden estructurarse básicamente de acuerdo con la figura 1.

La educación de la ingeniería hidráulica debe apoyarse en un número de ciencias básicas y geociencias, teniendo como base científica esencial, la ciencia de la hidráulica, la hidrología ingenieril, las estructuras, la mecánica de suelos y los métodos de planificación. Desde esta base principal, se pueden derivar una gran variedad de asignaturas. La materia central y sus distintas partes serán descritos en un próximo capítulo.

importantes en todos los campos de aplicación. Las labores de ingeniería incluyen el análisis de los caudales, la estimación de las fuerzas hidráulicas, incluyendo la interacción entre éstas y las vibraciones estructurales, además de la consideración de aspectos de diseño tales como la selección de los sellados, y los elementos estructurales basados en consideraciones económicas,

Ciencias Básicas	MATEMATICAS		INFORMATICA		TEORIA DE SISTEMASE INFORMACION	
	FISICA MECANICA DE FLUIDOS	QUIMICA	BIOLOGIA		ECONOMIA	CIENCIAS SOCIALES
Geociencias	METEOROLOGIA	HIDROLOGIA	OCEANOGRAFIA		GEOLOGIA	GEOECOLOGIA
Ciencias de la Ingeniería	HIDRAULICA	INGENIERIA HIDROLOGICA	ESTRUCTURAS		MECANICA DEL SUELO	METODOS DE PLANNING
Ingeniería Hidráulica	ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	HIDRAULICA INDUSTRIAL	HIDRAULICA URBANA		HIDRAULICA FLUVIAL	HIDRAULICA MARITIMA
	HIDRAULICA SUBTERRANEA		INGENIERIA DEL HIELO	HIDRAULICA MEDIO-AMBIENTAL	INGENIERIA DE RECURSOS HIDRICOS	

## RETOS EN LA INGENIERIA HIDRAULICA

### Trabajos presentes y futuros de los ingenieros hidráulicos

Los ingenieros hidráulicos abarcan una amplia variedad de tareas en los proyectos hidráulicos sobre planificación, diseño, operación y mantenimiento y en los sistemas de gestión de los recursos hidráulicos.

Se ha elegido una base conceptual en vista a los modelos presentes mundiales de desarrollo, el crecimiento económico y el incremento de la población, a fin de englobar todo ello para un desarrollo sostenido. Por tanto, debemos conocer las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de generaciones futuras para conocer sus propias necesidades (Bruntland, 1987). Sin embargo, el desarrollo sostenido de los recursos hidráulicos no se pueden conseguir sin ciertas limitaciones, el incremento de las necesidades de agua como sustento de una creciente población mundial se enfrenta con unos recursos hídricos limitados en la naturaleza con severos cambios. Esto conlleva grandes retos a la profesión de los ingenieros hidráulicos.

### Estructuras Hidráulicas

El diseño de las estructuras hidráulicas, que estudian la interacción entre dichas estructuras y el agua, forman el núcleo de la ingeniería hidráulica. Las estructuras hidráulicas para control del caudal son elementos así

como las funciones de regulación y control, y el impacto de las estructuras sobre el agua y el medio ambiente.

Probablemente las más prominentes estructuras hidráulicas son las presas para almacenamiento del agua. La planificación, diseño, construcción y operación de las presas son partes vitales de la gran variedad de utilización y reutilización del agua, mediante la generación de depósitos multipropósito: el suministro de agua para uso doméstico, riego y usos industriales; la protección de la vida y de las propiedades ante inundaciones; la generación de la energía hidroeléctrica y el almacenamiento de grandes cantidades de energía para el crecimiento económico; la mejora de la navegación mediante el incremento de la profundidad de las aguas y la creación de lagos artificiales, así como la utilización de lagos para la pesca y el recreo. Estos usos también conllevan sistemas de otro índole. Por ejemplo, la previsión de un suministro adecuado de agua para el riego en la producción agrícola requiere estructuras para la distribución del agua por gravedad o por bombeo, controlado por compuertas o válvulas respondiendo a ratios de caudal monitorizados.

### Hidráulica Industrial

La hidráulica industrial abarca fluidos bajo condiciones estacionarias y transitorias en diversos tipos de hidro-maquinaria, incluyendo turbinas, bombas, cilindros hidráulicos, válvulas, tuberías y otros. De una forma más general, también incluye el diseño y operación de un amplio surtido de equipa-

miento, como los que conducen el fluido de la gasolina en los motores de los automóviles y el caudal de tinta en las impresoras de los ordenadores. En muchas partes del mundo, el término “ingeniero hidráulico” se utiliza para describir lo que concierne con estos movimientos de los fluidos. Se incluyen el diseño y la producción de turbinas eficientes y duraderas y la producción de grandes sistemas de bombeo para el transporte de diferentes tipos de fluidos, así como sistemas de control y monitorización,

### **Hidráulica Urbana**

La hidráulica urbana abarca los sistemas asociados con el suministro de agua potable y agua industrial, el desagüe de las aguas negras y el control del drenaje urbano como respuesta a las aguas pluviales. Tanto la cantidad como la calidad son importantes. Los conocimientos que se requieren incluyen aspectos hidráulicos acerca de las redes de suministro del agua, el conocimiento de las fuentes de suministro superficiales y subterráneas, la hidrología urbana, el análisis de sequías, la previsión y alivio de las inundaciones, protección contra éstas por medio de estructuras, el control en tiempo real de los sistemas de drenaje, el movimiento de sedimentos en las alcantarillas, la reglamentación del drenaje urbano, los elementos hidráulicos en plantas de tratamiento tanto para agua potable como para aguas negras, y medios para el control o alivio de la contaminación del agua industrial. La operación y el mantenimiento de estos sistemas requieren técnicas de control de los recursos hidráulicos.

### **Hidráulica Fluvial para ríos y cuencas**

La hidráulica fluvial consiste en la medida, análisis y control de los procesos fluviales. Los procesos físicos en los ríos están determinados por la interacción del agua y los sedimentos. La ingeniería hidráulica trata de estimar y controlar el agua en desagües y las capas de sedimentos en las desembocaduras; la morfología de los ríos bajo condiciones naturales y modificadas; la interacción entre el caudal, los sedimentos y las estructuras (incluyendo presas, puentes y estructuras de protección de taludes). La morfología de un río varía progresivamente a lo largo de su curso, desde las primeras ramificaciones en las altas regiones hasta alcanzar los estuarios, donde el río se encuentra con el mar. En el tramo central, el tamaño de los sedimentos en un río es prácticamente uniforme. La relación entre el caudal de agua y los sedimentos ha sido estudiado en profundidad; por ello, tanto los nacimientos, con suelo de arena gruesa, como las desembocaduras con sedimentos cohesivos y agua salina requieren una mayor investigación.

### **Hidráulica Marítima**

La hidráulica marítima cubre todos los aspectos de temas marítimos, costeros y portuarios. Ello incluye la morfología costera, las olas, las corrientes, las mareas, la sedimentación y la contaminación. Trabajando con

estos temas los ingenieros hidráulicos tratan con la generación de las olas, el oleaje, las direcciones de los mares, el romper de las olas y las comentas portuarias; los esfuerzos inducidos por el agua sobre las estructuras; el transporte de materia en el lecho y en suspensión, las corrientes portuarias y en las orillas envueltas en el transporte de sedimentos y procesos costeros; la convección de los contaminantes mediante corrientes, derivas residuales, dispersión y difusión; los aspectos navegacionales; la planificación, diseño, operación y mantenimiento de los puertos, las estructuras costeras, las tuberías de petróleo, y las estructuras costeras de protección. Todos estos trabajos deben ser desarrollados desde la perspectiva de un compromiso de la ingeniería con el medio ambiente.

### **Hidráulica del agua subterránea y de los medios porosos**

La hidráulica de los medios porosos cubre las aguas subterráneas en medios naturales y caudales en cuerpos artificiales porosos tales como sumideros y filtros arenosos; ello incluye aspectos tanto sobre cantidad como calidad del agua. Los sistemas de agua subterránea varían ampliamente con la formación geológica de los acuíferos y están caracterizados por la baja velocidad y los extremadamente largos tiempos de renovación. A lo largo de sus contornos abiertos, el agua subterránea puede contaminarse por fuentes puntuales de contaminantes o por fuentes diversas como los abonos y herbicidas de los campos agrícolas. Los procesos de transporte tienen lugar a escala del tamaño de un poro o grano y son afectados simultáneamente por heterogeneidades locales de mayor escala en la formación geológica, así como por absorción, reacciones químicas y actividades microbiológicas. Los ingenieros hidráulicos están implicados en el control de estas fuentes de aguas subterráneas, los efectos de sobreexplotación, los hundimientos de tierra o intrusión de agua salada; la utilización del agua subterránea; la planificación, diseño y operación de los sistemas de suministro de agua; y la protección de las aguas subterráneas, control de la contaminación y esquemas de prevención.

### **Ingeniería del Hielo**

Los principales objetivos de la ingeniería del hielo son la protección de la vida humana y la propiedad contra los efectos nocivos del hielo, así como el posibilitar una utilización estructurada del mismo. La ingeniería del hielo trata con las propiedades del hielo; formación del mismo; movimiento de éste; interacción entre hielo y agua; regímenes termales de los ríos, lagos y océanos; la interacción entre el hielo y las estructuras; el efecto del hielo en la morfología de los canales; los métodos potenciales para aliviar los efectos peligrosos del hielo; y su potencial como materia estructural. La ingeniería del hielo está también implicada en la extensión de los límites donde el hombre puede operar de forma efectiva, y sus fuentes de utilización, de lo contrario no serían accesibles o solo lo serían temporalmente.

### **Hidráulica del Medio Ambiente y control de la contaminación**

La hidráulica del medio ambiente trata sobre los cambios en el medio ambiente inducidos por las actividades humanas o por las estructuras hechas por el hombre. Los principales impactos provienen del desagüe de las aguas negras, descargas de los sistemas de refrigeración de centrales de generación de energía, así como fuentes de contaminación agrícola e industrial. El trabajo de ingeniería incluye el diseño de las estructuras hidráulicas adecuadas (estructuras de admisión y descarga), predicciones de los procesos de transporte y los efectos en la calidad del agua, y las estrategias para su atenuación y prevención. Estos incluyen el tratamiento de vertidos accidentales (como vertidos de petróleo en medios acuáticos), el vertido de las aguas residuales en los ríos y zonas costeras, movimientos de contaminantes, tecnologías para la mejora de la calidad del agua en ríos y lagos, la previsión para el paso y desove de los peces, y finalmente, la estratificación en lagos y los sistemas de oxigenación.

### **Planificación y Control de los Recursos Hidráulicos**

Los problemas complejos del desarrollo sostenido en hidráulica deben ser dirigidos de una forma integrada. Los recursos hidráulicos y su entorno deben verse como un sistema que contiene numerosos elementos que se relacionan entre sí. Por lo tanto, la planificación y el control de los recursos hídricos deben basarse de forma adecuada en el análisis de sistemas. Por ello se promueve el análisis de riesgos y las avanzadas tecnologías sobre planificación y control en la ingeniería hidráulica para el diseño y control de serios proyectos de recursos hidráulicos medioambientales.

### **Áreas implicadas actualmente**

El deterioro que se produce sobre el medio ambiente como consecuencia del desarrollo industrial de la sociedad está adquiriendo una importante notoriedad. Tanto los impactos tangibles como intangibles de cualquier tipo de construcción en el medio ambiente están siendo estudiados en profundidad. Se requiere un gran esfuerzo para entender el comportamiento de los sistemas naturales en la evaluación de un proyecto dado. La definición de los criterios para la evaluación de los efectos ecológicos actuales y futuros es difícil, y a menudo el objetivo es “la reposición de las condiciones naturales”. Algunas veces, existe conflicto entre los beneficios tangibles a corto plazo y el intangible bienestar de la Sociedad a largo plazo. Cada nación debe definir sus objetivos de desarrollo sostenido para mejorar los estándares en la economía y en el nivel de vida. “Sostenido” se utiliza para describir prácticas que pueden continuar indefinidamente sin consecuencias adversas. Algunos de los aspectos hidráulicos relacionados con estas cuestiones y que vienen a agruparse en un cuerpo de doctrina denominado “hidráulica del hábitat”, serán descritos brevemente en las secciones siguientes.

### **Impacto de las estructuras hidráulicas sobre el medio ambiente**

Desde los años sesenta, donde los impactos de la presa “High Aswan” en el río Nilo se hicieron patentes, se ha venido prestando mayor atención a los impactos ecológicos y medioambientales de las estructuras hidráulicas. Ahora, un estudio sobre el impacto medioambiental debe adjuntarse con el proyecto de diseño de ingeniería, para la evaluación de la construcción propuesta de cualquier gran proyecto hidráulico. A menudo se presentan y evalúan diversas alternativas para hacer más patente los impactos tangibles e intangibles desde distintos puntos de vista. Los severos impactos medioambientales de las presas y la correspondiente falta de emplazamientos adecuados de las mismas están estimulando nuevos conceptos de diseño y operación; estos incluyen previsiones que permitan la extracción de los sedimentos de los depósitos en un esfuerzo por incrementar el tiempo global que pueden ser utilizados.

### **Ecología y control de los ríos.**

La Ingeniería Hidráulica considera que la función principal de un río es el transporte de agua como una fase importante del ciclo hidrológico. Los ecologistas contemplan los ríos como un hábitat importante para la vida de plantas y animales, organismos acuáticos, insectos, peces, pájaros, vida salvaje, y una amplia variedad de especies botánicas. Los ingenieros hidráulicos y los ecologistas están aprendiendo a conducir juntos análisis e investigaciones. Algunos temas críticos son el incremento de los hábitats para los peces, vida salvaje, y flora; la evaluación de las aguas requiere aspectos ecológicos; la tendencia natural de los arroyos; el análisis de las crecidas en ríos; el enfoque para el aumento de la diversificación, así como diversos temas relacionados con la calidad de las aguas. Si los ríos se utilizan con diversos fines, deben ser controlados de una forma compleja. El control de los ríos puede incluir la regulación del caudal, bifurcación del mismo, medios estructurales y no estructurales para evitar las inundaciones, aumento de los caudales para el mantenimiento de canales, liberación del caudal para requerimientos ecológicos y control de la calidad del agua. Los esfuerzos en la renaturalización de los entornos de los ríos también precisa de un estudio de su evolución a largo plazo.

### **Pantanos**

Los pantanos están localizados a lo largo de los ríos y en las proximidades de las zonas costeras. Debido al desarrollo humano, se ha deteriorado un buen número de pantanos que son hábitats naturales de gran diversidad. Se ha reconocido la necesidad para la conservación de los pantanos, y algunas áreas están siendo protegidas. Experiencias recientes indican que la conservación de los pantanos no puede mantenerse sino mediante determinadas actuaciones concretas, especialmente debidas a las comunidades cercanas. Para cada proyecto de restauración los ingenieros hidráulicos

licos están de acuerdo con los ecologistas para definir un criterio ecológico, para posteriormente transferirlo a un criterio hidráulico, a fin de alcanzar objetivos predeterminados. Se proponen algunos planes alternativos, como forma de encontrar esos criterios hidráulicos y ecológicos y se selecciona finalmente el más adecuado para el medio ambiente y el entorno natural que vivirá con él. Actualmente existe una gran inquietud en torno a la investigación de la utilización de los pantanos naturales o artificiales, y su relación con el exceso de nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo.

### **Los contaminantes superficiales y subterráneos y la calidad de las aguas**

La contaminación superficial y subterránea se encuentran entre los problemas más críticos a los que se enfrentan hoy en día los ingenieros hidráulicos. Las posibles fuentes de contaminación incluyen las aguas negras y el agua residual industrial, la liberación accidental de sustancias peligrosas en el medio ambiente, como vertidos de petróleo u otras sustancias químicas durante su transporte o manipulación, las escorrentías agrícolas y la deposición de contaminantes aéreos. El agua superficial se poluciona debido al transporte de contaminantes en los lagos, depósitos, arroyos, pantanos, regiones costeras, puertos y en el océano. La contaminación de las aguas subterráneas debidas a las actividades industriales y agrícolas requiere un enorme esfuerzo. Algunos de los actuales temas en el agua superficial y subterránea son las características en el transporte de los contaminantes; los efectos de las reacciones químicas y los procesos microbiológicos sobre la calidad del agua; el desarrollo de efectivos programas de monitorización de la calidad del agua para lugares específicos; utilización común del agua superficial y subterránea; control de la calidad del agua; y la reducción de entradas de contaminantes provenientes de fuentes agrícolas e industriales.

### **Las fuentes de energía alternativas y renovables**

A la vista de las limitaciones en el suministro mundial de los fueles fósiles y a causa de las restricciones ecológicas, políticas y económicas en la producción de energía convencional se han evaluado fuentes alternativas de energía tales como la energía solar o geotermal y el viento, las olas y las mareas. Sin embargo el valor económico de la energía procedente de las olas y las mareas es aún incierto. Por otra parte, sería digno de desarrollo la energía geotermal basada en el agua y el aire caliente, pero sólo si las condiciones geológicas son favorables. Estos adelantos están retando a los ingenieros hidráulicos que al mismo tiempo y tradicionalmente han utilizado las fuentes de energía convencionales como la energía hidráulica, la energía nuclear, los fueles fósiles y el carbón.

El agua es, sin ninguna duda, la fuente de energía renovable más importante. Debido a los impactos ecológicos y al número limitado de localizaciones de nuevas presas, la construcción de instalaciones para la

energía hidráulica en muchos países desarrollados se ha ralentizado significativamente en los últimos años. No obstante, su importancia en países en desarrollo está aún en aumento. Además, el desarrollo de centrales hidroeléctricas reversibles amplía las posibilidades que ofrece la energía hidráulica. En resumen, la potencial utilización de la energía hidráulica ofrece muchas perspectivas prometedoras, en tanto en cuanto los sistemas hidráulicos envueltos estén tanto planificados, como puestos en funcionamiento de forma adecuada.

### **La reducción de los desastres naturales**

Los desastres naturales relacionados con el agua, tales como inundaciones, tifones, huracanes, corrimientos de tierra o sequías causan la pérdida de muchas vidas y enormes cantidades de daños cada año. En el mundo se aumentan esfuerzos para limitar estas pérdidas y daños y para disminuir la incidencia de los efectos de tales acontecimientos extremos. La ingeniería hidráulica tiene un importante papel que desempeñar al respecto.

### **Los cambios climáticos globales**

La posibilidad de cambios climáticos globales debido al efecto invernadero está actualmente recibiendo una gran atención. El calentamiento del globo puede causar un aumento en el nivel de los mares, cambio que podría afectar a procesos costeros e incrementar la necesidad de protección de las costas. Se contempla la posibilidad de que incluso pequeños cambios climáticos pueden tener efectos significantes en el ciclo hidrológico y ocasionar acontecimientos extremos, lo que afectaría de una forma severa al diseño y explotación de sistemas hidráulicos.

## **OBJETIVOS Y NECESIDADES EDUCATIVAS**

### **Objetivos educativos para ingenieros hidráulicos**

A causa de la gran variedad de tareas que están interrelacionadas en los campos de la ingeniería hidráulica, la planificación de los recursos hidráulicos y los sistemas de gestión, ninguna titulación puede englobar todos los aspectos necesarios. La educación formal (tanto teórica como práctica) debe por tanto incluir diversos cursos que traten de abarcar los diferentes objetivos. La necesidad de una buena preparación de profesionales está aumentando rápidamente con los constantes incrementos en la demanda del suministro de agua en todo el mundo. También, debido a que estas demandas van cambiando, al igual que los sistemas van evolucionando, se necesita un sistema coherente de educación continua de largo aprendizaje para profundizar, ampliar y extender la educación de carácter más teórico que se ofrece en las universidades.

Las titulaciones universitarias que más enfatizan en la ingeniería hidráulica varían ampliamente en función del país en cuestión. Ello está influenciado por la

geografía nacional, la cultura, la economía y las tradiciones en la educación relacionadas con el tema. No obstante, los ingenieros que se han graduado, han aprendido como enfrentarse a los mismos tipos de retos y llevarlos a cabo de diversas formas. Sus carreras, a pesar de la tradición de la que procedan, pueden conjuntar las tareas de investigación, planificación, administración, construcción, mantenimiento y operación, para la amplia variedad de estructuras que se requieren.

El reto para los educadores es ayudar a formar los recursos humanos para hacer frente a un amplio rango de trabajos relacionados con el agua (Raynal, 1992). Debemos suministrar personas para trabajar a todos los niveles en la gestión de recursos hidráulicos. Debemos agrupar la preparación para cualificaciones que van desde tareas técnicas hasta las meramente administrativas. Los gerentes deben supervisar operaciones a gran escala; el personal de servicio se requiere para recabar y ordenar información, operar y mantener las instalaciones hidráulicas y manejar diversos aspectos de estos sistemas que pueden ser bastante extensos.

La filosofía de los sistemas educacionales formales para aportar estos especialistas debe basarse en lo que necesita un ingeniero hidráulico. En la práctica de una graduación universitaria, estas necesidades definen qué elementos deben de ser incluidos en la preparación de una ingeniería básica, qué niveles son los apropiados para los ingenieros profesionales y cuales son los adecuados para una educación de postgraduado.

En vista del limitado ámbito de los programas educacionales, una de las cuestiones esenciales es el objetivo de dicha educación: si se va a enfatizar en un ingeniero generalista, con una base más general de amplio enfoque, o en un especialista con una preparación más técnica y una base más ingenieril. ¿Debería el ingeniero hidráulico ser un especialista en el sentido tradicional (aunque con sensibilidad hacia el medio ambiente, y con conocimientos de la economía y otros aspectos), o bien disponer de una orientación hacia los recursos hidráulicos, más como un generalista, con preparación en economía, ecología, planificación regional y otras áreas de conocimiento en línea con las precedentes?

Avances en muchas partes del mundo indican que se está evolucionando a un nuevo tipo de ingeniero hidráulico, con una base más amplia como adición al ingeniero hidráulico "clásico". Esto es, se trata de formar a una persona capaz de abordar temas de recursos hidráulicos y planificación del medio ambiente, con capacidad para incorporar un entendimiento de nuestro entorno, tomar en consideración aspectos económicos y métodos de planificación en su preparación básica, en lugar de potenciar aspectos complementarios de la ingeniería estructural. De hecho, Hidráulica y Estructuras pueden ser vistas como dos educaciones distintas y complementarias.

Los ingenieros medioambientales, ecologistas y

planificadores son profesionales muy ligados a los ingenieros hidráulicos en el ejercicio diario de la profesión. Por tanto, estos grupos de profesionales y los ingenieros hidráulicos deben divisar maneras de trabajar juntos de forma productiva y coordinada para conseguir proyectos y explotaciones armónicas.

### **Áreas de trabajo de mayor relieve en ingeniería hidráulica**

En las siguientes secciones se indican el presente estado de los conceptos básicos en ingeniería hidráulica y los desarrollos que están teniendo lugar hoy en día o en un futuro cercano. De alguna forma las asignaturas están en un estado de fusión; están surgiendo nuevos cursos y métodos de aprendizaje, se están utilizando más herramientas de ayuda para la enseñanza basadas en visualización y en los ordenadores.

### **Hidráulica**

La hidráulica se puede definir como una aplicación de los principios de la mecánica de fluidos para la solución de trabajos de ingeniería que están relacionados con el movimiento del agua y el transporte de sustancias en suspensión. Estos procesos incluyen la recogida, utilización y redistribución del agua superficial, subterránea y marítima tanto en el tiempo como en el espacio y la determinación de las fuerzas que el agua ejerce. Tradicionalmente, los hidráulicos se basaron en simplificaciones de la mecánica de fluidos a través de representaciones unidimensionales apoyadas en el uso de coeficientes empíricos y en la experiencia acumulada. Las posibilidades que ofrece el ordenador han ampliado las perspectivas de los ingenieros hidráulicos modernos. El enfoque tradicional, basado en estudios de modelos hidráulicos y fórmulas semi-empíricas que representaban aproximaciones unidimensionales, se ha ido modificando para incluir los métodos numéricos basados en la solución directa de las ecuaciones en derivadas parciales de la mecánica de fluidos. Estas aplicaciones cubren un amplio espectro de los sistemas de agua naturales y artificiales, así como técnicas para resolver los problemas de calidad del agua con la introducción de procesos morfológicos, químicos y biológicos.

### **Hidrología**

La hidrología en su amplio sentido ha surgido durante las últimas décadas como una ciencia natural y fundamental, cuyas aplicaciones parten de las geociencias hasta alcanzar muchos otros campos de la ingeniería (Nash et al., 1990). La hidrología trata del agua en el ciclo hidrológico de la tierra, y ello incluye sus interacciones con la atmósfera, océanos y glaciares. Su tema central es el agua y el entorno terrestre, pero también abarca los procesos de evaporación, condensación, precipitación, congelación y deshielo. Además, el ciclo hidrológico determina el transporte y deposición de las sustancias en suspensión, y los efectos relacionados con el agua sobre la vida vegetal.

Originalmente, la hidrología había desarrollado un cuerpo de doctrina único, dirigido por los ingenieros hidráulicos a la obtención de información acerca de los caudales máximos y mínimos de diseño para el cálculo de crecidas y evaluación de sequías. El ciclo completo hidrológico ha asumido un nuevo significado para la ingeniería, de manera que recientes aplicaciones tratan la lluvia en distribución y magnitud como una entrada de datos en modelos de procesos de erosión. La evaporación como una parte del riego o de las pérdidas de agua de los depósitos y ríos. La escorrentía como punto de partida de los caudales entrantes en ríos y sistemas de drenaje, el cálculo de los recursos para el suministro de agua y las causas de las inundaciones. Es obvio que muchos de los datos de partida hidrológicos que los ingenieros necesitan hoy para sus diseños se formularon incluso antes de 1950. Además, el trabajo que se tiene que realizar en países con una inadecuada hidrología, requiere que ésta se vea desde un contexto climático: las condiciones hidrológicas de regiones tropicales y áridas, por ejemplo, difieren entre sí, al igual que la hidrología en los climas moderados.

Muchas universidades han respondido a esta ampliación del ámbito de la hidrología, estableciendo cursos dirigidos a la obtención de una licenciatura en hidrología. UNESCO ha elaborado recientemente un plan de estudios para la hidrología en la educación universitaria (Maniak, 1993) con distintas ramas de estudio.

### **Estructuras hidráulicas**

Un elemento clave en la ingeniería hidráulica son las estructuras hidráulicas. Su función, diseño e implementación estructural son el núcleo de esta disciplina; la forma en que las estructuras afectan al régimen del agua y a su caudal así como el medio ambiente responde ante estos cambios son partes fundamentales del análisis. El diseño de estas estructuras debe incluir no sólo las consideraciones de fiabilidad y economía de la construcción, mantenimiento y eventual traslado, sino también los diversos impactos sobre el agua con las consecuencias en el flujo y en la calidad de la misma. Las consideraciones de todos estos aspectos de desarrollo sostenido son también esenciales para la planificación y el diseño de las estructuras hidráulicas.

Los elementos estructurales de tales proyectos componen una parte importante de la ingeniería civil. El análisis estructural, la ciencia de los materiales y la tecnología de las estructuras son asignaturas troncales en la ingeniería hidráulica. Para la mayoría de las aplicaciones, los tipos de estructuras y su diseño han evolucionado durante muchas décadas, y no sólo para estructuras extremadamente grandes, tales como las grandes presas o lagos de navegación con grandes acantilados, los ingenieros se enfrentan a problemas que requieren de nuevas soluciones. Nuevos retos aparecen ante nuevas tecnologías de la construcción, pudiendo obtener soluciones económicas con la aplicación de diseños desde el punto de vista ingenieril y probabilístico.

Como la mayoría de prominentes ejemplos de estructuras hidráulicas, se terminan cada año unas 200 presas mayores de 15m con propósitos de almacenaje, generación de energía, control del caudal o suministro de agua. Las 36.000 presas de todo el mundo almacenan unos 6000 km<sup>3</sup> de agua. Las presas son estructuras indispensables para el desarrollo regional, donde se han hecho recientes estudios orientados hacia nuevas formas de hacerlas compatibles con las condiciones locales de su entorno. Se puede hacer factible su diseño para que cause la menor ruptura de las condiciones sociales y naturales. Los aspectos culturales, sociales, medioambientales y de seguridad de las presas y depósitos son ahora ideados en las primeras etapas de la planificación. Las consecuencias negativas de la construcción de presas son principalmente locales, y en la mayoría de los casos éstas deben compensarse con planificaciones serias, un diseño adecuado y las medidas correspondientes que compensen los efectos adversos.

### **Mecánica del suelo**

La mecánica del suelo forma la base de la ingeniería geotécnica, siendo un elemento clave en todas las estructuras de ingeniería civil. La mecánica del suelo es de capital importancia particularmente para las grandes estructuras como las que nos encontramos en ingeniería hidráulica. Una gran parte de los fallos estructurales son imputables a problemas de cimentación. Además, la estructura del suelo natural y sus características materiales son aspectos importantes en los sistemas de agua naturales. Algunas de las interacciones entre el fluido y el suelo son los efectos en la estabilidad de las estructuras, los procesos de erosión por el viento y el agua, el transporte de los sedimentos, los efectos de sedimentación y filtración, las aguas o fluidos subterráneos, los hundimientos de tierras, y los cambios resultantes en el curso natural y en los sistemas de transporte.

### **Planificación de los proyectos de los recursos hidráulicos**

Los ingenieros hidráulicos necesitan una base firme en los métodos de planificación. La planificación y operación de los grandes sistemas de gestión de los recursos hidráulicos es posible gracias a tecnologías desarrolladas originariamente en procesos industriales y sistemas económicos. Las técnicas de optimización como la programación lineal y dinámica, y los métodos de optimización matemáticos desde simples gradientes a sistemas neuronales se aplican ampliamente en los estudios de recursos hidráulicos. Por ejemplo, la interacción de las instalaciones hidráulicas con el medio ambiente se puede describir por medio de modelos conceptuales y matemáticos que son comparativamente simples. Al mismo tiempo, los ingenieros han desarrollado satisfactoriamente unos sistemas sectoriales que sirven a un propósito dominante muy simple, como el suministro de agua, la generación de energía o el riego. El conocimiento tradicional en estos

campos forma la base para las técnicas de simulación que se utilizan comúnmente en la ingeniería hidráulica.

Se entiende por simulación en la ingeniería de los recursos hidráulicos el desarrollo dinámico de un elemento de un sistema hidráulico. La característica más importante de la simulación es que los cálculos se llevan a cabo en el dominio del tiempo mediante la representación del elemento del sistema en un modelo: en este proceso, la entrada la constituyen una serie de funciones temporales que representan un proceso natural, tales como una secuencia de consumos mensuales o de posibles demandas futuras de agua.

La planificación de los recursos hidráulicos se dirige hacia un entendimiento y mejora de sus múltiples objetivos, así como a compatibilizar aspectos con distintas finalidades, en los cuales deben evaluarse y contrastarse los objetivos conflictivos. Se necesitan análisis económicos para evaluar los costes, al igual que métodos de planificación y especialización en el control para coordinar los diversos esfuerzos. Debido a que los parámetros climáticos y de caudal varían ampliamente se emplean como más apropiados los análisis probabilísticos y de riesgo. Estas técnicas son también importantes y adecuadas a causa de las incertidumbres de las proyecciones futuras. Los actuales desarrollos de control remoto, imágenes de satélites y sistemas de información geográfica (GIS) servirán como poderosas herramientas en un futuro.

#### Los principales áreas en la ingeniería hidráulica.

Cada estudiante debe recibir cursos en diferentes temas especializados de acuerdo con su interés particular. Algunas de las ramas principales incluidas dentro de la ingeniería hidráulica se detallan seguidamente. Por lo general, el alumno no puede acceder a todas ellas, debiendo seleccionar las de mayor interés, quedando otras como optativas. Tales áreas son:

- Diseño y operación de estructuras hidráulicas.
- Conversión de sistemas de energía, transporte, almacenamiento en depósitos, generación.
- Hidráulica fluvial, geomorfología y geociencias relacionadas.
- Oceanografía: olas, corrientes, erosión costera y protección.
- Climatología, y temas avanzados en hidrología.
- Ingeniería agrícola, riego y drenaje.
- Hidrogeología y sistemas subterráneos.
- Calidad del agua, química del agua, y microbiología (control de la contaminación).

- Introducción a la ecología.
- Métodos estadísticos y estocásticos.
- Análisis de sistemas y tomas de decisiones.
- Aspectos legales sociales y culturales de la planificación y dirección.
- Aspectos internacionales y asuntos especiales de las áreas del tercer mundo.

#### Metodología para la enseñanza de la ingeniería

La educación en la ingeniería hidráulica debe incluir el contacto con proyectos de diseño reales, así como una amplia gama de clases prácticas:

- Es esencial el aprendizaje de la mecánica de fluidos mediante alguna experiencia en el laboratorio para que el estudiante se familiarice con los conceptos de caudal, las propiedades de los fluidos, al tiempo que se enfrenta con la medida de variables fluidas y el tratamiento de tales datos experimentales. Una extensión lógica de esta parte del aprendizaje es un curso de modelado hidráulico, con amplios conceptos de semejanza hidráulica.
- Igualmente importante es la necesidad de que el estudiante tome contacto con la recogida de datos de campo, incluyendo el conocimiento de la instrumentación utilizada. Esto debe proporcionarle un sentimiento de fiabilidad y grado de precisión en los datos, teniendo en cuenta la variabilidad en tiempo y espacio de los procesos hidrológicos.
- Viajes de estudio para visitar estructuras hidráulicas aún en proceso de construcción o en operación, lo que permite a los estudiantes aprender sobre la misma realidad de las estructuras, así como su funcionamiento. Los estudiantes deben conocer a partir de los ingenieros profesionales como la opinión pública influye en la planificación y como ésta puede adecuarse a tales necesidades. Este tipo de experiencias ayuda a ilustrar como se resuelven en la práctica todas las teorías aprendidas en clase y tomar conciencia con algunas de las dificultades que conllevan.
- La enseñanza aplicada en el campo y las técnicas de laboratorio se complementan con el emergente campo de la hidroinformática, que agrupa las aplicaciones tecnológicas y el uso de los ordenadores. Ello incluye el uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), otros sistemas de información y los sistemas de ayuda en la toma de decisiones que proporcionan el nivel deseado de correlación de muchos aspectos interrelacionados

de un sistema de gestión de agua, la ingeniería de sistemas para el diseño de sistemas integrados, y finalmente la integración de modelos numéricos en los sistemas de información.

- El Diseño asistido por ordenador (CAD) debe desarrollarse para la utilización específica en la ingeniería hidráulica. Los avances en la ilustración de procesos físicos mientras se muestran como se trabaja con ellos (en programas interactivos) supondrá claramente la incorporación del ordenador en la carrera en un futuro. Una tremenda ventaja de los ordenadores interactivos radica en el aprendizaje de todo tipo de técnicas utilizadas en el manejo de datos, desde el análisis de datos experimentales por medio de números adimensionales hasta las más elaboradas investigaciones y estadísticas multivariantes. También, las prácticas en ordenador pueden llevarse a cabo en las clases, donde el ordenador toma un papel primordial al permitir simular a través de una serie de datos de campo representativos el comportamiento de, por ejemplo, un canal abierto de laboratorio. El estudiante experimenta con diversas entradas observando los resultados en la pantalla de un ordenador personal. Las comparaciones de medidas físicas reales en un canal abierto con cálculos numéricos también permite al estudiante contrastar la validez de las hipótesis simplificativas que están inherentes en todos los modelos numéricos.

### Preparación profesional

Los ingenieros hidráulicos acceden a la profesión a través de titulaciones con diferentes orientaciones: la construcción o la industria de generación de energía, en el abastecimiento de agua, la gestión de los recursos hidráulicos (administraciones públicas), e instituciones educativas o de investigación. A menudo los ingenieros comienzan su trabajo con una especificidad relativa de su campo de ingeniería, para gradualmente ir ampliando sus campos de interés, y finalmente, convertirse en un ingeniero que asocia multitud de disciplinas.

La especialización debe adquirirse durante la preparación de una carrera profesional, compuesta en el caso de la ingeniería hidráulica de:

- Habilidades en la comunicación.
- Métodos de planificación y organización de grupos humanos.
- Conocimiento de técnicas de manejo de bases de datos.
- Desarrollar una visión técnica de un problema desde diferentes puntos de vista y métodos para entender y conciliar las múltiples vertientes del mismo (público en general, administradores, planificadores, contratistas, directivos)

- Cualidades de mando y una preparación para un liderazgo informal.

La adquisición de estas importantes cualidades requieren una experiencia ligada con los proyectos del mundo real. Las inevitables limitaciones de tiempo en la educación universitaria formal, conllevan a que sólo algunos aspectos puedan ser tratados en profundidad y consecuentemente otros se dejan para, de alguna forma, la educación continuada.

Los ingenieros hidráulicos hoy en día, tienen que incluir el análisis de los impactos medioambientales de un proyecto complejo, con un enfoque que coordine sus esfuerzos con los de otras disciplinas. El trabajo y la dirección por grupos interdisciplinarios está recibiendo una incipiente atención, y la elección de un equipo líder está basado a menudo en un conocimiento general del problema. El adecuado tiempo de preparación en diferentes disciplinas para los ingenieros hidráulicos depende de cada individuo, pero la necesidad puede llegar a especificar un mínimo de preparación. Algunas universidades en los Estados Unidos discuten la necesidad de cursos de biología, química o ecología para los estudiantes de ingeniería hidráulica.

### Educación continuada

La educación continuada es importante en el aprendizaje de una carrera, y es conveniente que ello sea así. La educación formal puede complementarse con seminarios, cursos cortos o aprendizaje de tecnologías con ayuda del ordenador, y la ayuda de ingenieros para calificar las necesidades de su profesión y las de la sociedad.

Las necesidades para una educación continua difieren ampliamente de unas regiones a otras; ello depende de la educación recibida anteriormente, los requerimientos de los profesionales en un determinado país y el tipo de proyectos comunes a una región específica. Estas necesidades también dependen del tipo de carrera del ingeniero. Después de una educación de ingeniero hidráulico, un ingeniero puede utilizar la educación continua para ampliar el conocimiento en una determinada área de especialización, para ampliar dicho conocimiento en asignaturas relevantes o para complementar ciertas habilidades de mando. La flexibilidad inherente en la educación continua permite desarrollar programas con un claro objetivo seleccionado:

- Asignaturas de intensificación: enseñando ingeniería de sistemas e introduciendo asignaturas vecinas en una planificación de la carrera integrada, por tanto ampliando las cualificaciones de líder y de dirección. La dirección en la gestión del agua es una parte del control del medio ambiente. Los ingenieros hidráulicos son los responsables de los trabajos públicos y de los sistemas de gestión de recursos hidráulicos, incluyendo su dirección y operación. Su trabajo

debe agrupar no sólo los elementos técnicos y medioambientales dentro del sistema, sino que también tener en cuenta los impactos que ello puede ocasionar en sistemas más amplios o sociales que son influenciados por dicho proyecto.

- Temas especializados, correspondientes a campos adyacentes: ejemplos son la ingeniería medioambiental, la química del agua, la planificación de las infraestructuras, la economía, la agricultura, la ecología y la biología.
- La preparación para una alta cualificación en el uso de métodos y herramientas auxiliares: estas incluyen modelización numérica, hidroinformática, técnicas de observación en campo, técnicas de laboratorio y métodos estadísticos.
- Preparación especializada para los estudiantes de investigación. Al contrario que los países anglosajones, muchas partes del mundo no tienen programas formales para graduados en sus universidades. En estos países, la educación continua por medio de cursos cortos debe sustituir a los cursos master a fin de formalizar y mejorar las cualidades de los estudiantes avanzados.

### Aspectos globales

Un factor clave en el desarrollo mundial es la disponibilidad y el uso racional del agua como una fuente natural de vital importancia, que es abundante en algunas partes del mundo y escasa en otras. Los ingenieros hidráulicos deben ser conscientes de estos problemas que están aumentando de una forma amenazadora:

- Incrementos en la demanda de agua debido al aumento de población mundial.
- Conflictos internacionales que pueden surgir por la utilización común de los ríos por parte de dos o más países.
- Rápida industrialización, lo que también incrementará el consumo del agua.
- Agricultura intensiva, incluyendo sobreexplotación de reservas de agua subterránea.
- Contaminación y deterioro de la calidad del agua tanto del agua superficial como la subterránea como un resultado del crecimiento de satisfacciones humanas, vertidos industriales y actividades agrícolas.
- Cambios climáticos globales que pueden ocasionar graves impactos sobre el ciclo global del agua.

La capacidad en la construcción de sistemas de gestión de recursos hidráulicos en todas las partes del mundo radica en un afán por un desarrollo sostenido que los recursos hídricos globales. Enormes esfuerzos internacionales se requerirán para que los recursos hídricos disponibles sean utilizados de una manera juiciosa y eficiente para solucionar los problemas de agua en muchas partes del mundo, evitando la sobreexplotación y mitigando los daños por inundaciones. Todas estas tareas requerirán de un gran número de profesionales con un alto nivel de competencia.

Las necesidades globales que requiere la educación especializada se ha aceptado por la UNESCO y por organizaciones internacionales relacionadas con el agua tales como IAHR. Se necesitan esfuerzos adicionales en la educación y preparación a todos los niveles en diversas partes de la ingeniería hidráulica. Se requiere de la incorporación inmediata de todos los nuevos conceptos en investigación y gestión en programas establecidos. La UNESCO ha sido el sponsor internacional de cursos en hidrología y recursos hidráulicos durante 25 años. IAHR, al igual que un amplio número de asociaciones de profesionales no gubernamentales en el campo de la hidráulica y la ingeniería hidráulica proveen una estupenda red para la implementación y la rápida diseminación de las nuevas prácticas vía educación continua a escala internacional. Ello contribuye a un intercambio de información a través de publicaciones, cursos internacionales, seminarios y conferencias.

Finalmente, se debe promover un entendimiento para el público en general sobre las técnicas, estrategias y asuntos relacionados en la ingeniería hidráulica. Los objetivos generales son:

- incrementar la conciencia pública de la importancia de un medio ambiente sostenido,
- mejorar el conocimiento de las ciencias relacionadas con el agua a todos los niveles,
- facilitar la transferencia de los resultados en las investigaciones y desarrollo tecnológicos a los profesionales envueltos en la integración del desarrollo y gestión de los recursos hidráulicos,
- fomentar la cooperación entre países y entre regiones para resolver los conflictos de compartición de recursos hídricos.

### CONCLUSIONES

La ingeniería hidráulica es una disciplina con una tradición que se remonta al comienzo de la civilización. Durante milenios sus ingenieros han desarrollado los medios para resolver muchos problemas prácticos, y continua ofreciendo muchos retos y oportunidades para la implantación de nuevas carreras. La educación en ingeniería hidráulica debe

además de las tecnologías clásicas, los más recientes métodos de análisis y los nuevos conceptos de uso equilibrado:

1. La educación recibida por un ingeniero hidráulico está basada en la ciencia, particularmente en la mecánica de fluidos y la geociencia, y algunos temas aplicados como las estructuras hidráulicas y la hidrología aplicada a la ingeniería. También incluye una serie de actividades coordinadas en diferentes campos y graduaciones de especialización.
2. El aprendizaje en clase debe complementarse con ejercicios de laboratorio, prácticas de ordenador, viajes a pie de obra, y estudios de proyectos reales.
3. La ingeniería hidráulica debe impartirse en un amplio contexto del medio ambiente natural y social y debe de realzar el sentido de la responsabilidad del ingeniero para un desarrollo sostenido del medio ambiente y de la utilización equilibrada de las diferentes necesidades sociales.

De la creciente demanda de agua para satisfacer las muchas necesidades de una población creciente, surgen los retos a los educadores de diversificar sus programas y producir ingenieros especializados y técnicos en grandes números. Además, la ampliación del ámbito de los proyectos del agua ha influenciado de una manera dramática la práctica del ingeniero hidráulico en la última parte del siglo actual:

4. En las décadas recientes los ingenieros hidráulicos se han envuelto de forma más acuciente con los temas sobre calidad del agua y una gran variedad de temas relacionados con el medio ambiente. Los hidráulicos están intrínsecamente envueltos, ya que ello conlleva unas bases físicas de procesos de transporte hidráulicos de sedimentos, materia disuelta, oxígeno, nutrientes, calor y contaminantes siendo estos los ingredientes claves para la calidad del agua. El ámbito de la ingeniería abarca más ampliamente los nuevos retos impuestos por la necesidad de un desarrollo sostenido y por la amenaza de cambios globales.
5. La planificación con objetivos múltiples de proyectos complejos requieren nuevas metodologías y algunos cambios en la forma de trabajar. A menudo se requieren planes alternativos, para valorar las incertidumbres y los impactos intangibles (objetivos no cuantificables). Estas formulaciones y su utilización en planificación requieren especiales procesos de aprendizaje que dependen de los análisis de sistemas, conceptos estocásticos y de incertidumbre.
6. Debido a que la parte principal de la mayoría de proyectos conllevan el movimiento del agua u otros procesos relacionados con el agua, el ingeniero hidráulico será normalmente el coordinador de los esfuerzos multidisciplinarios. La preparación para

llevar a cabo este trabajo debe incluir una educación especial en liderazgo y desarrollo de una sensibilidad genuina capaz de ver los puntos de vista y necesidades de otros especialistas y otras culturas. La habilidad para la comunicación, tanto oral como escrita, es algo implícito en su actividad. Ello incorpora una preparación adecuada para la comunicación efectiva en lugares públicos, particularmente en la forma de presentaciones equilibradas de objetivos y proyectos en sus contextos sociales y medioambientales.

Para muchos ingenieros hidráulicos la necesidad de ser especialistas y generalistas es algo implícito. Esta necesidad debe reflejarse en los sistemas y programas de educación que se requieren:

7. La amplia variedad de las necesidades del agua, así como los recursos y las culturas requieren de los ingenieros hidráulicos para interactuar con sociólogos y científicos de la naturaleza en diversos campos como la geología, geografía, economía, biología pesquera, ecología y sociología. Para facilitar este proceso, las organizaciones educativas deben extender sus ofertas para incluir:
  - nuevos cursos de estos campos relacionados que irán dirigidos a la integración en los planes de estudios de los ingenieros hidráulicos.
  - cursos especiales que presentarán los elementos principales de la hidráulica a estudiantes de estas otras disciplinas.
  - cursos introductorios en la preparación de requerimientos no usuales de las actividades en grupo y la participación en dichas actividades de equipo.
8. Tanto para los actuales programas como para los nuevos que seguramente van a surgir será beneficioso la confección de guías educativas que hagan incapie en los aspectos que deben incluir y en la cantidad y profundidad que se requiera. Es necesario estructurar una preparación que incluya un rango de niveles y una diversidad de disciplinas. Algunas de las mayores necesidades para los programas nuevos son su escaso desarrollo en las áreas donde a menudo los problemas del agua son más severos, lo que lleva a constatar una falta de preparación adecuada.
9. Las limitaciones que tiene la educación formal en qué y cuánto puede hacerse, muestra la necesidad e importancia de una educación continua. Tales programas de formación se pueden diseñar y modificar conociendo las necesidades del momento. Frequentemente, ello requiere de un fuerte componente de internacionalización, tanto en los programas de

aprendizaje como en el personal envuelto en dichos procesos.

10. La ingeniería hidráulica tiene una serie de aspectos internacionales importantes:
- la mayoría de los grandes proyectos se llevarán a cabo en la parte menos desarrollada del mundo;
  - muchos de ellos implican el interés de más de un país debido a que la mayoría de los grandes ríos son internacionales;
  - la variedad de culturas que tienen que trabajar juntas requiere un intercambio de información en ambas direcciones, evaluación de los distintos valores y formas de actuación.

Como consecuencia de ello, el aprendizaje a nivel mundial y la transferencia de información deben ser intensos. La cooperación directa de los especialistas es la forma más eficiente de transferencia de conocimiento, estimulando la movilidad de los profesionales, profesores, investigadores y estudiantes entre las naciones y regiones.

Varias de las actividades propuestas necesitan claramente del apoyo de las organizaciones internacionales como el IAHR. En respuesta a estas tareas importantes, el IAHR ha establecido un Comité de Educación y Formación Continuada que se dirige particularmente a los temas mencionados anteriormente relacionados con guías educativas, educación continua, y movilidad de profesionales.

## REFERENCIAS

- Bruntland, Gro H. et al. (1987) Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development; Oxford University Press.
- Davis, Calvin V. (1952) Handbook of applied hydraulics. McGraw-Hill, New York.
- Jordaan, J., E.J. Plate, J.E. Prins, J. Veltrop (1993) Water in our Common Future: A Research Agenda for Sustainable Development of Water Resources. UNESCO Publication, París.
- Maniak, U. Ed. (1993) Curricula and syllabi for hydrology in university education. UNESCO, IHP-IV Project E-2.1, Technical Documents in Hydrology (113 p), París.
- Müller, Andreas -ed.- (1993) IAHR looking into sustainable development Research agenda and future topics of concern, IAHR Publication. Delft.
- Nash, J.E, P.S. Eagleson, J.R. Philip, W.H. van der Molen (1990) The education of hydrologists, Hydrological Sciences Journal. Vol. 35, No 6, pp. 597-607, Dec.
- Plate, E.J. (1985) Contributi degli esperti stranieri, Idrotecnica. No 6, pp. 381-411.
- Raynal, J.A. -Ed.- (1992) Hydrology and water resources education, training and management, Water Resources Publications. Littleton, Col. USA.
- Rouse, Hunter -ed.- (1950) Engineering hydraulics. John Wiley and Sons; New York.
- Schleicher, Ferdinand -Hrsg.- (1942) Taschenbuch für Bauingenieure. Springer Verlag, Berlín.