

# LA FORMACIÓN DEL INGENIERO HIDRÁULICO PARA EL SIGLO XXI

**Raúl A. Lopardo**

Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas Universidad Nacional de la Plata.  
Argentina.

*(Conferencia de ingreso en la Academia Nacional de Ingeniería de la República Argentina el 4 de mayo de 1995, publicado con el permiso del autor)*

**RESUMEN:** Los cambios producidos por la revolución electrónica, la generalización de la informática y la valoración ambiental indican la necesidad de introducir modificaciones de fondo en la formación de los ingenieros hidráulicos de cara al Siglo XXI. Se reivindica el interés de enfatizar la relevancia de la carrera de Ingeniería Hidráulica, detallándose su campo de acción y las posibilidades profesionales que actualmente se presentan en el tema, dado lo vertiginoso de las alteraciones que se están gestando, se plantea la necesidad de una muy sólida formación básica, que asegure una permanente actualización. Paralelamente, se discuten las eventuales desventajas de proponer una nueva carrera universitaria de grado para la formación de especialistas en temas ambientales. Se replantean los campos temáticos que hoy componen la formación del ingeniero hidráulico, tendiendo a diferenciarlo del Ingeniero civil convencional, incorporando cátedras (y no simples materias) de ciencias biológicas, ecología y ciencias humanísticas.

## INTRODUCCIÓN

Así como el siglo XX ha sido reiteradamente considerado como la era del petróleo, la próxima centuria parece estar destinada a ser “el siglo del agua”.

Tangelson manifiesta la dificultad y el riesgo de efectuar extrapolaciones hacia el futuro cuando se está inmerso en tiempos de una “revolución industrial”. Es típico el ejemplo de quien duplicó su número de carretas para atender el crecimiento inevitable del transporte de granos a fines del siglo pasado sin haber podido prever la utilización masiva de la máquina de vapor, como un error de extrapolación atribuible a estar inmerso en tiempos de la “revolución industrial”.

La importante inversión de Brasil en el desarrollo de una tecnología propia en el campo de la informática fue evidentemente un error que lamentan los científicos de ese vecino país, al que podrían atribuirse similares razones. Es que en esta etapa de fines del siglo XX se

Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

está aparentemente en otra suerte de “revolución industrial” es decir en un punto de inflexión histórico que hace muy complejo efectuar previsiones en el campo de la investigación y desarrollo, aún para un futuro cercano.

Sin perjuicio de ello, parece que nuestro destino cercano de ingenieros está ligado, como el nacimiento de nuestra especie, al agua.

Un análisis cuidadoso de los sucesos acaecidos en los últimos cuarenta años indica la necesidad de introducir modificaciones conceptuales (de fondo) en la formación de los ingenieros hidráulicos de cara al siglo XXI.

Esta conclusión se sustenta en la ocurrencia de notables cambios en el panorama socioeconómico del mundo. Estos cambios incluyen tres aspectos fundamentales, entre otros menos evidentes: a) la revolución electrónica, b) la revolución informática y c) la revolución ambiental.

La Ingeniería, y en particular la Ingeniería Hidráulica, esta íntimamente vinculada al desarrollo socioeconómico de la comunidad. Su relación con aspectos energéticos y productivos no le permiten permanecer ajena a estos cambios, de modo que debe incorporar las ideas propugnadas por estas tres revoluciones, a fin de seguir siendo útil para la sociedad.

Los problemas vinculados al agua están insertos dentro de numerosos campos de la ingeniería. Al respecto, es interesante observar que las fuentes de financiamiento internacionales han centrado sus créditos y subsidios hacia las obras de infraestructura que están directamente vinculadas con la provisión de agua potable, desarrollo de energías "limpias", protección del ambiente y saneamiento hídrico

### LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

De acuerdo con quien dirigiera la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas, la Ingeniería Hidráulica es una noble profesión que ayuda a transformar en realidad los sueños de la sociedad para habitar en un mundo mejor (Piate, 1987). En su forma de desarrollo empírico, es una de las profesiones más antiguas. En la opinión de Enzo Levi (1985), tal vez no existe otra rama de la ingeniería que pueda exhibir una historia tan prolongada y tan rica como la hidráulica. Su campo de acción está claramente definido y abarca un espectro de actividades profesionales de mayor amplitud que gran parte de las actuales ramas de la ingeniería.

En realidad, la necesidad de disponer de agua para satisfacer requerimientos básicos corporales y domésticos y la particular lucha del hombre por dominar este singular recurso (hoy escaso y vulnerable) desde los tiempos más remotos, ha obligado a desarrollar una serie de aspectos tecnológicos de la más variada índole. La Ingeniería Hidráulica ha evolucionado paulatinamente a través de perplejidades y tropiezos, errores y aciertos, severas disputas, propuestas analíticas, experiencias, teorías transitorias y leyes permanentes. En la actualidad se cuenta con excelentes fundamentos físicos y matemáticos que permiten abordar gran parte de sus temas básicos pero aun resta un verdadero universo de investigaciones y trabajos creativos indispensables para cubrir la brecha que media entre la verdadera naturaleza de los fenómenos hidráulicos y la interpretación completa y definitiva de los mismos.

En consecuencia, la hidráulica no es en modo alguno una rama ya cerrada de la ingeniería, planteándose cada día nuevos desafíos

El campo de las actividades del ingeniero hidráulico cubre aspectos de estructuras hidráulicas, máquinas hidráulicas, hidrología hidráulica fluvial, hidráulica marítima, hidráulica industrial, hidráulica agrícola,

construcciones hidráulicas, saneamiento urbano y rural aprovechamientos hídricos, manejo de cuencas y planificación territorial. En cada una de las especialidades debe entender en cuestiones profesionales de planificación, proyecto, construcción, investigación y desarrollo. Esta carrera está íntimamente ligada de modo histórico con la concepción global del Ingeniero Civil.

Puede adquirirse una idea acabada de la importancia social de la Ingeniería Hidráulica si se piensa que involucra las obras más gigantescas que haya construido el hombre en su historia, llevando bienestar y desarrollo a zonas naturalmente inhóspitas.

Como contrapartida, esta relevancia se ve enfatizada si se analizan los lamentables accidentes de las grandes obras hidráulicas. Los mismos plantean graves consecuencias sociales que pueden incluir fuertes pérdidas de vidas humanas, desastres económicos y alteraciones dramáticas irreversibles del medio natural. Obras hidráulicas menores tienen también singulares efectos sobre la vida y los bienes de quienes habitan la región en la que se encuentran. Hay comunidades que dependen del riego logrado a través de un pequeño azud de derivación cuya falla puede llevar a la eliminación de la fuente de trabajo de la zona y, en algunos casos, obligar hasta a la emigración de pobladores.

Es que la historia de las realizaciones prácticas de la Ingeniería Hidráulica está jalonada por monumentales demostraciones de capacidad e inventiva, pero reconoce también desaciertos. Desdichados ejemplos de tales inconvenientes quedan reflejados en las siguientes estadísticas:

- a) más del cincuenta por ciento de los puentes que han fallado en los Estados Unidos de Norteamérica han tenido como motivo básico un defecto hidráulico (Murillo, 1987). Luego, la suma de roturas de puentes producidas por terremotos, tifones, errores de cálculo estructural, malas fundaciones y accidentes no alcanza a igualar el número de aquellos que han cedido por su mala concepción como "obra hidráulica".
- b) durante el período de medio siglo comprendido entre 1935 y 1985 se ha podido contabilizar ciento setenta y tres fallas de presas debidas a diferentes causas, lo que involucra el promedio alarmante de 3,5 fallas de presas por año. El número de presas que fueron superadas por las aguas alcanzó en ese lapso a 80, sumando las presas que vieron excedida toda su capacidad de descarga con las que tuvieron inadecuado manejo del embalse y las que presentaron fallas en el sistema de compuertas impidiendo usar de forma completa las obras de alivio. De lo ex-

puesto se deduce que la causa más común de rotura de presas es el sobrepaso, registrando un 46% de las fallas totales computadas (Malinov, 1991).

Al margen del tema de “seguridad de presas” existen numerosas obras hidráulicas que no corren ningún peligro y que, de todos modos, presentan errores tales que ni siquiera cumplen las funciones para las que sus proyectistas las imaginaron. Por otra parte, la concepción errónea de no incluir al ambiente como elemento decisivo en la concepción de las obras en general e hidráulicas en particular, ha llevado a numerosas de ellas a transformarse en elementos negativos para la sociedad que las ha construido o financiado.

## LOS CAMBIOS DE FIN DEL SIGLO VEINTE

Nadie pone en duda que la sociedad de fines del siglo XX se encuentra atravesando una etapa de profundos y vertiginosos cambios que afectan su base filosófica y organizativa.

No pocos pensadores han destinado un sinnúmero de hojas de sesuda discusión a fin de catalogar y comprender esta nueva etapa que se abre ante los ojos de un mundo atónito frente a la celeridad de los cambios en marcha. En una interesante visión histórica Toffler (1993) postuló la ocurrencia de una “tercera ola”, en metafórico choque con las dos anteriores, que está terminando de conformarse en estos días y que regirá los destinos de la sociedad, al menos, en los comienzos del tercer milenio.

Según Toffler, la “primera ola” consistió en la civilización agrícola que abarcó hasta 1650-1750 y la “segunda ola” estuvo signada por la revolución industrial (que se extendió hasta 1950 aproximadamente). En la Tabla 1 se comparan las principales características de cada etapa de acuerdo a la visión de Toffler. Cabe resaltar del análisis, la cerrada relación entre los cambios tecnológicos, el manejo de la información y el comportamiento social cotidiano de las personas a través de los tiempos históricos.

Obviamente, la Ingeniería en general (sentada en base a fundamentos teóricos sólidos), producto de la revolución industrial, pertenece a la “segunda ola”.

Los pilares de la “tercera ola” de Toffler pueden sintetizarse mediante tres revoluciones: electrónica, informática y ambiental. En los siguientes capítulos se pretende dar una aproximación acerca de cómo interactúan estas revoluciones con la Ingeniería Hidráulica y qué podría esperarse para los comienzos del siglo XXI de dicha interrelación.

## LA REVOLUCIÓN ELECTRÓNICA Y LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

En los últimos cincuenta años se ha ido edificando una fenomenal transformación de la electrónica. Si bien la invención del transistor significó un paso importante merced a la incorporación de nuevas posibilidades, el circuito integrado (y la increíble reducción de tamaños que sufrió) revolucionó las vidas de toda la Humanidad.

Con relación a la Ingeniería, la electrónica incorporó fundamentalmente mayores posibilidades de adquirir e interpretar el ambiente natural. El satélite, los diferentes tipos de sensores, las mediciones a distancia, las cámaras de televisión de alta resolución posibilitan “ver” a la naturaleza de otra forma.

Más específicamente respecto a la Ingeniería Hidráulica, la electrónica permitió superar la “hidráulica de los valores medios” dando medios para interpretar y cuantificar los fenómenos íntimamente impermanentes y aleatorios de la turbulencia en general y la macroturbulencia en particular. A modo de ejemplo local, resultó posible efectuar la medición y análisis de los procesos aleatorios en flujos macroturbulentos, en particular en estructuras de disipación a resalto y demostrar la existencia de cavitación por pulsos de presión (Lopardo, 1989).

En el mismo sentido, aparecieron anemómetros basados en la tecnología láser, que están abriendo un nuevo capítulo en el conocimiento instantáneo de las velocidades puntuales de los fluidos mediante técnicas no intrusivas y en la comprensión de las vibraciones de las estructuras.

Los nuevos equipos e instrumentos topográficos e hidrométricos permiten establecer las márgenes y el fondo de ríos y regiones costeras con mayor calidad. Esta circunstancia resulta de fundamental importancia debido a que la topobatimetría constituye un insumo básico de toda modelación (ya sea física o matemática).

La introducción del radar meteorológico posibilita hoy en día la determinación de intensidades de precipitación casi puntuales, lo cual redundará en una mayor precisión en el cálculo de los caudales en secciones de interés, obligando a actualizar la modelación matemática de la relación escorrentía-caudal a fin de incorporar esta nueva capacidad.

Las imágenes satelitarias son utilizadas actualmente como elementos casi habituales para la delimitación de zonas inundadas, gracias a su carácter de “testigo invisible” de eventos aislados. También se las está empleando para interpretar la batimetría de zonas costeras con la ayuda del conocimiento de los niveles del agua en estaciones específicas (Loman et al, 1992).

Es interesante mencionar que se abre un campo de aplicación con muchas posibilidades si se orientan los esfuerzos a crear medidores de magnitudes biológicas, necesarias para los estudios de impacto ambiental de lagos, embalses y cuerpos de agua en general. Ciertos biólogos están considerando iniciar canales de colaboración en este sentido con Ingenieros Hidráulicos a fin de constituir una base instrumental nueva.

## LA REVOLUCIÓN INFORMÁTICA Y LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

Si bien la computadora puede pensarse quizás como el exponente máximo de la revolución electrónica, las consecuencias sociales y profesionales que desencadena su uso en particular merecen ser tratadas en forma separada bajo la denominación de revolución informática. En efecto, la computadora es el arquetipo de la sociedad actual y ha ejercido una influencia decisiva en la Ingeniería, en combinación con los instrumentos de registro.

La Hidráulica se inicio como un conjunto de actividades técnicas fundadas en el empirismo. Al surgir la Ingeniería como profesión formal con la revolución industrial, se comenzó a sentar las bases teóricas de la Ingeniería Hidráulica, cimentada en la mecánica de fluidos. Surgieron así las ecuaciones denominadas fundamentales.

Sin embargo, estas ecuaciones diferenciales brindadas por la mecánica de fluidos sólo podían ser integradas en casos muy restrictivos y, consecuentemente, poco prácticos. Además, ciertos temas, por su complejidad, no autorizaban el enfoque teórico. El surgimiento de la modelación física como tema científico fue la solución para responder a las limitaciones teóricas, relegando en su aplicación a estos enfoques frente a casos prácticos.

Si bien los métodos numéricos existían como alternativa teórica desde mucho antes, la aparición de computadoras al alcance de los Ingenieros Hidráulicos hacia 1950 afianzó el interés por la solución de las ecuaciones sin apelar a la modelación física, con una computadora. Surgió de esta forma la modelación matemática. Se desempolvieron así los viejos métodos numéricos, al tiempo que la utilización de la herramienta motivó la creación de nuevas aproximaciones, tales como la de los elementos finitos y la de los elementos de contorno.

En la década del 80, la masificación de las computadoras personales, cada vez a menor costo, afirmó aún más las posibilidades de estas metodologías de cálculo. Aumentó la diferencia de costos existente entre la construcción de un modelo físico y la operación de una computadora.

Hoy en día puede advertirse una complementación total entre las modelaciones matemática y física, empleándose la primera en general para los problemas reducibles a dos dimensiones y reservándose la segunda para los problemas tridimensionales de detalle. Un ejemplo de tal complementación fue la optimización del cierre del brazo Aña-Cuá para la presa de Yacyretá (de Lio et al, 1989)

Asimismo, la computadora permitió encarar la resolución de problemas hasta entonces no atacados. Surgieron en los últimos años modelos matemáticos de turbulencia que se emplearon para estudiar algunos problemas de dispersión de contaminantes en la atmósfera y de perfiles de velocidad en resaltos. Están surgiendo diversos modelos que estudian problemas de degradación ambiental: descargas de petróleo, vertido de sustancias cloacales, metales pesados, relaves en minas de cobre, etc..

A pesar de que la computadora es una fantástica herramienta, la revolución de la que se habla es bastante mas' amplia. En efecto, la revolución es "informática", no sólo "computacional". La Informática tiene que ver con la información, es decir con la producción, almacenamiento y procesamiento de datos. Así como la revolución electrónica mejoró la consecución de datos del entorno natural, la revolución informática esta alterando la vía en la que los datos están siendo almacenados y procesados.

La informática incluye a la computadora pero a la vez envuelve a todas las aplicaciones derivadas de la combinación de la computadora con otros "periféricos". Como todo lo que sea "digitalizable" puede ser incluido en la computadora, pronto se comenzó a combinar el audio, el video con la computadora personal. Así, entre otras cosas, la combinación de la computadora con el satélite dio lugar al GIS (Geographical Information System), que está siendo introducido en los modelos matemáticos mejorando la calidad de la información de base y optimizando la interpretación final de los resultados.

Las tendencias actuales serán seguramente incompletas frente a las alternativas que podría brindar la informática: por ejemplo, la extrapolación lineal de las tendencias de unos veinte años atrás no daban por sentada la irrupción de las computadoras personales. Sin embargo, surge claro el afianzamiento de la informática como medio de procesar volúmenes cada vez más grandes de datos. Asimismo, se presume que aumentará la demanda de estudios hidráulicos mediante mutilación matemática en búsqueda de una reducción de costos y de tiempos en los estudios de problemas bidimensionales, mientras que se complementará con la física en aquellos problemas tridimensionales. Se puede pensar que se re-

ducirán las dificultades de calibración de los modelos los matemáticos gracias a la mayor confiabilidad de la información de base brindada por el GIS.

### LA REVOLUCIÓN AMBIENTAL Y LA “ESPECIALIDAD” AMBIENTAL

Desde hace más de treinta años se viene produciendo una toma de conciencia a nivel mundial referida a la necesidad de resguardar al planeta de la inminente degradación ambiental. Tal actitud ha comenzado a tener efecto en países pioneros en la materia, tendiendo a rever conductas pasadas y a iniciar estudios sistemáticos de todos los proyectos de desarrollo. Es por ese motivo que en los claustros universitarios es tema actual de debate definir la mejor manera de formar profesionales capacitados para las diversas actividades que plantean esos estudios ambientales.

Según se ha demostrado en los países más desarrollados, la creación de una nueva carrera universitaria tendiente a formar “especialistas” en ciencias ambientales no es en modo alguno aconsejable. La opinión de las firmas consultoras de estudios ambientales de mayor relevancia a nivel internacional es que no resulta posible conformar un profesional con el necesario dominio en las diversas disciplinas que son indispensables para tal tipo de estudios.

En efecto, resulta poco serio pensar que dentro de un tiempo aceptable para la obtención de un grado universitario se pueda brindar a los estudiantes los conceptos necesarios correspondientes a matemáticas, física, ciencias básicas de la ingeniería, antropología aplicada, arquitectura y urbanismo, ciencias biológicas y ecología, derecho y ciencias sociales, ciencias de la salud, etc. Ciertamente, es posible haber omitido en el anterior listado, otras ciencias igualmente indispensables en la formación de quienes serían “especialistas en ambiente”.

Por otra parte, es indudable que el objetivo de esa profesión “novedosa” no puede limitarse a poner al servicio de la sociedad un profesional generalista, que no poseerá dominio suficiente de ninguna especialidad, pues su futuro estará limitado a ingresar al Estado como un “funcionario público” de escasa importancia o a formar parte de los grupos de discusión irrelevantes en ciertas organizaciones no gubernamentales.

La característica más saliente de los estudios ambientales es que requieren una interrelación fluida de especialistas de variadas disciplinas, a priori de difícil compatibilidad. Es por ello que se habla de “grupos transdisciplinarios”, que implican mucho más que la acción individual de

personas que ponen en juego los conocimientos de su especialidad independientemente del resto. En efecto, se trata de que, en base a un objetivo común, cada profesional haga su aporte, procurando comprender y compatibilizar las posiciones de todos. En consecuencia, puede afirmarse que los estudios ambientales han producido una revolución en lo que respecta a la integración disciplinaria, vinculando estrechamente las ciencias exactas con las naturales y las humanísticas.

En base a lo expuesto, resulta obvio que no es conveniente la creación de una carrera universitaria de grado en ciencias ambientales, ya que ello conspiraría contra la eficacia de los equipos transdisciplinarios. Esos equipos deben conformarse con los mejores especialistas en cada materia, es decir quienes tengan una adecuada formación para participar en ellos.

En virtud de lo expuesto, la propuesta que se considera como más conveniente se divide en tres etapas:

- a) la formación de estudiantes primarios y secundarios con concepción del ambiente, que tiendan a un cambio de mentalidad de la sociedad en su conjunto,
- b) la adecuación de los cursos de grado de ciertas carreras universitarias fuertemente ligadas a los estudios ambientales con materias que complementen su concepción general del tema,
- c) el desarrollo de cursos de post-grado que pueden ser propuestos para cada especialidad y de otros que explícitamente puedan ser realizados para profesionales de distintas especialidades, de carácter transdisciplinario.

Dentro de las etapas señaladas, el presente trabajo se refiere exclusivamente a la segunda, es decir a la discusión sobre planes de estudio a nivel de grado que incluyan algunos temas de interés en ciencias ambientales.

### LA REVOLUCIÓN AMBIENTAL Y LA INGENIERÍA HIDRÁULICA

Existe una muy fuerte interconexión entre agua y ambiente, por una parte, y agua y desarrollo, por la otra, ambas de características totalmente opuestas. El aprovechamiento, control y preservación de los recursos hídricos en el mundo conforman una tarea de singular complejidad. Como la población aumenta constantemente, las necesidades de agua son obviamente crecientes, lo que entra en conflicto con el carácter limitado del recurso y en consecuencia, con la preservación del ambiente. Se comprende entonces la

necesidad de compatibilizar desarrollo con ambiente. A ello es que se dirige el intento del denominado "desarrollo sustentable".

En primera instancia, las obras de ingeniería deben ser compatibilizadas con el ambiente, según reza el desarrollo sustentable, por lo que la ingeniería adquiere una participación evidente en su relación con el ambiente. Por otra parte, la ingeniería tiene un rol protagónico en los estudios de impacto ambiental, en particular la rama hidráulica, ya que se ocupa de los fluidos y en especial del agua, medio que acoge continuamente obras de infraestructura.

De acuerdo a lo expuesto, la tarea de la ingeniería actual no se limita simplemente a concretar la obra de la forma más económica para la sociedad y con la mayor calidad técnica. En efecto, con el surgimiento de los estudios de impacto ambiental y la capacidad natural de la profesión, los alcances de la labor ingenieril se ven ampliados, ya que puede desempeñar un rol destacadísimo en la cuantificación de los impactos ambientales a fin de asignarles un costo. La decisión sobre si un proyecto es viable o no debe contemplar hoy en día aspectos ambientales. De esta forma, debe asignarse costo a los impactos, deberá cuantificarse las medidas de control y mitigación y, en función de ello, se alterará el balance costos-beneficios. Así, la decisión en cuestión no sólo es un problema económico-financiero tradicional.

Aquí se centra un aspecto muy importante del aporte de la ingeniería: los estudios que llevan a cabo biólogos, químicos y otras disciplinas, de imperiosa necesidad y trascendencia como base para análisis futuros, consisten en la mayoría de los casos en relevamientos en un día determinado, en una zona específica, de ciertos parámetros de interés, sin una vinculación a la dinámica del problema que se está estudiando. Por ejemplo, abundan estudios de zonas costeras contaminadas en los cuales se brindan mediciones muy detalladas y valiosas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), presencia de bacterias coliformes, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables, etc, pero no se vincula los valores determinados con la hidrodinámica de la región. Ninguno de esos estudios puede responder a preguntas como estas: ¿qué ocurre con la DBO cuando sopla viento del Este a 20 m/s?; ¿en cuánto fluctúa la concentración de bacterias coliformes cuando la marea cambia de creciente a bajante?. Precisamente, la ingeniería hidráulica, mediante el empleo de modelos matemáticos y/o físicos puede responderlas (Lopardo et al, 1993).

Siguiendo con el precepto de la visión holística necesaria para caracterizar el ambiente, el recurso agua debe ser analizado como un sistema global que contiene

numerosos elementos relacionados entre sí y con el resto del ambiente. Dentro del sistema ecológico, a menudo denominado "ecosistema", puede encontrarse un subsistema biótico y otro abiótico. El subsistema biótico contiene la flora (sistema fitobiótico) y la fauna (sistema zoobiótico) y sus relaciones mutuas. El subsistema abiótico contiene sistemas temáticos tales como el sistema hidráulico, el sistema sedimentológico, el sistema suelos y el sistema químico.

Como se observa en la Figura 1, el campo de estudios clásico de la ingeniería hidráulica, ligado con proyectos de recursos hídricos, está limitado a una parte del sistema abiótico. Sin embargo, como cualquier variación en el sistema abiótico causa impactos en el sistema biótico (debido a la estrecha vinculación entre ambos), debe compatibilizarse los puntos de vista de los ingenieros hidráulicos y de los ecólogos (Hjort et al, 1991).

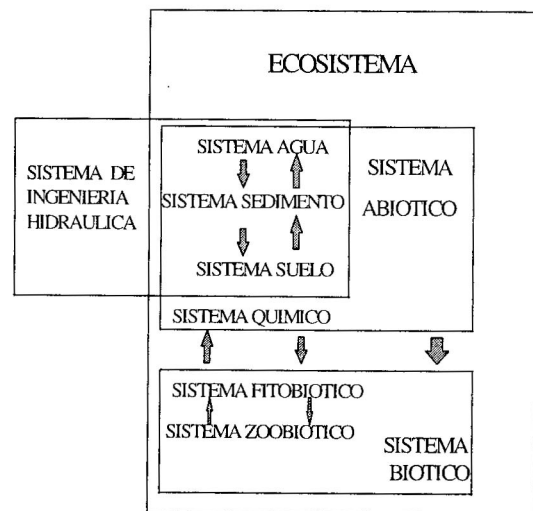


Figura 1.

La participación de la ingeniería hidráulica en temas ambientales obliga, tal como se describió anteriormente, a la tarea transdisciplinaria. En especial, se hace necesaria la compatibilización de criterios con los ecólogos, lo que supone un esfuerzo racional de ambas partes, a fin de derribar barreras dogmáticas que conducen al fracaso de la propia sociedad que los ha formado: las obras no se pueden materializar o se hacen incorrectamente. Si bien puede parecer una quimera o una ficción, los comienzos en el primer mundo para esta "integración" han sido satisfactorios, partiendo aproximadamente desde 1977, fecha en que Hino propuso el termino "ecohidráulica", como denominación de una nueva ciencia en ascenso por esos tiempos.

Podría preguntarse si la necesidad del ingeniero hidráulico de tener una adecuada formación en ciencias ambientales es equivalente a dotar a los ecólogos, abogados, arquitectos y médicos de un bagaje suficiente físico-matemático y de ciencias de la ingeniería en sus carreras de grado. La respuesta es a priori rotundamente negativa. Como el desarrollo sustentable pone el énfasis en la necesidad de construir obras de infraestructura para mantener y elevar el nivel de vida de la población, no queda duda de la necesidad de que el ingeniero en general y el hidráulico en particular deben tener una adecuada formación en temas ambientales para reflejarlo adecuadamente en sus proyectos y obras.

También se discute acerca de si es necesaria la inclusión de temas ambientales a lo largo de la carrera de grado o, tal como se hace actualmente, dejar esos temas para cursos de post-grado acerca de "impacto ambiental". En tal sentido, es recomendable alinearse con la primera de esas propuestas, por entender que ya está claro que el concepto ambiental debe estar presente en toda etapa de un proyecto de ingeniería hidráulica, lo que sólo es posible si el estudiante lo advierte desde su formación inicial.

Los cursos de postgrado serán indispensables para los ingenieros que deseen formar parte de equipos de estudio de impacto, pero quienes son responsables de los proyectos deben tener ya asumidos conceptos ambientales en el momento de efectuar sus cálculos y diseños. Esos cursos de postgrado deben tender a que el ingeniero hidráulico se integre correctamente a los grupos transdisciplinarios.

De acuerdo con la International Association for Hydraulic Research (Starosolszky, 1991) debe intentarse los mayores esfuerzos para:

- a) promover el mayor conocimiento posible entre ecólogos e ingenieros hidráulicos,
- b) seleccionar los problemas más importantes para resolver en forma conjunta y demostrar el éxito de la colaboración a través de ejemplos,
- c) promover la aplicación de teoría de los sistemas para el tratamiento conjunto de tipos acuáticos básicos: ríos, estuarios, lagos y aguas subterráneas,
- d) estimular la estimación de la incertidumbre de los valores predichos mediante aspectos hidráulicos y ecológicos, asegurando que esas incógnitas sean igualmente aceptables e igualmente tratadas,
- e) describir de modo conjunto el fenómeno de escurrimientos líquidos y sus vinculaciones con el sistema ecológico, utilizando las leyes

básicas de la hidráulica y la ecología y seleccionar parámetros numéricos convenidos que caractericen las condiciones fundamentales, aplicar modelos numéricos hidráulicos y ecológicos para la predicción de alteraciones en el medio acuático debidas al cambio natural en el régimen hídrico o debido a la construcción u operación de estructuras hidráulicas .

Normalmente, los posibles impactos ambientales (positivos y negativos) producidos por obras para el aprovechamiento y control de los recursos hídricos de mayor interés tienen naturaleza local, pero a veces pueden afectar toda una región, una nación entera o un grupo de naciones. Ellos pueden ocurrir durante la construcción del proyecto, dentro de un tiempo muy corto en que se inicia la operación, o bien desplazarse hacia el futuro. Pueden ser afectaciones de corto o muy largo período. En general se estiman afectables por esas acciones del hombre los suelos, el agua, el aire, la vegetación, el uso de la tierra, la pesca, la vida silvestre, las especies en peligro de extinción, la recreación, los recursos culturales, los valores estéticos, la salud, movilidad, densidad y desplazamiento de la población, el crecimiento y la cohesión de la comunidad, la disponibilidad de vivienda, las redes de transporte, los ruidos.

De lo anterior se desprende que la ingeniería ambiental no debe ser confundida con la ingeniería sanitaria, que sólo se ocupa de algunos de los temas (importantes, por supuesto) relacionados con los impactos. Son ejemplos típicos (Petersen, 1986) de estudios hidráulicos de impacto ambiental los vinculados con: a) la eutroficación en embalses, canalizaciones y rectificaciones de cursos de agua, b) la evaporación en embalses, construidos por el hombre para diversos usos, c) el incremento de turbidez por efecto de dragados o por la construcción de ataguías de materiales sueltos, d) la disminución de la calidad del agua, por descarga de contaminantes urbanos o industriales, por accidentes, por disminución de capacidad de dilución de las corrientes, etc., e) la variabilidad de caudales debida a operación de presas, que puede erosionar márgenes aguas arriba y aguas abajo de la obra, puede degradar la estética, puede impedir el uso de zonas de recreación y afectar la vida silvestre, f) la deposición de sedimentos en embalses, canalizaciones y dragados, que (aún no estando aquellos contaminados) puede modificar los niveles líquidos, afectar las obras de toma, los canales de navegación y, en fin, la estabilidad morfológica del sistema fluvial, g) la degradación del lecho aguas abajo de estructuras que retienen sedimentos, cortando la continuidad de ese flujo y permitiendo el paso de aguas claras, altamente erosivas, que ponen en peligro no sólo la obra sino todo el tramo atacado, h) la contaminación térmica por descargas de centrales nucleares o de combustible líquido e industrias que afectan la vida acuática en desarrollos potenciales asociados a proyectos de nave-

gación o de estabilización de ríos y, finalmente, i) la intrusión salina en ríos afectados por mareas, que se incrementa por la presencia de presas que eliminan los elevados picos de crecida, que tienen efecto de "barrido".

## PERFIL DEL INGENIERO HIDRÁULICO

La ingeniería hidráulica requiere de una formación sin apresuramiento de especialistas en la materia, que dentro de plazos razonables alcance un nivel que le permita acceder al sistema productivo con los mejores argumentos básicos. El egresado recién definirá el campo temático cuando comience su actividad profesional, que le marcará tendencias y necesidades de mayor conocimiento en algunas áreas. Esos temas serán motivo de post-grado.

En términos generales el egresado debe estar preparado con una sólida formación básica en la especialidad, debe estar comprometido con la sociedad y debe estar capacitado para su permanente actualización. Como el número de temas a proponer para una carrera de grado está limitado por el tiempo (no se considera oportuno exceder los cinco años de estudio) existe una verdadera crisis en la definición de las materias que son indispensables para la formación del ingeniero hidráulico y la eventual designación de cátedras optativas.

En la Argentina no es habitual otorgar el diploma de "Ingeniero Hidráulico". De las siete universidades nacionales tradicionales que conformaban hasta la década del sesenta el nivel universitario nacional, sólo la Universidad Nacional de La Plata así lo hace. En su oportunidad, cuando allí se debatió en la década anterior el plan de estudios correspondiente, se decidió mantener esa carrera por seis razones fundamentales:

- a) la necesidad de contar con especialistas en temas vinculados con los recursos hídricos, lo que parece contrastar con la difícil inserción en el medio laboral de los ingenieros demasiado "generalistas".
- b) la necesidad de crecimiento de América Latina de disponer de expertos en recursos hídricos para sus obras de generación hidroeléctrica, caminos y puentes, puertos y vías navegables.
- c) la aparente ventaja, en virtud de que gran parte de las inversiones en obras que existen y se anuncian en América Latina están ligadas a aspectos del agua. A favor de este aspecto se destaca la falta de adecuada formación en hidráulica por parte de la mayor parte de los ingenieros, consistente en el cursado de unas pocas materias, y a veces tan sólo una, en toda su carrera.

d) la tradición e historia de la especialidad hidráulica en la Universidad Nacional de La Plata, conocida y respetada más allá de las fronteras del país, contando con el laboratorio "Guillermo Cespedes", pionero en América Latina, cuya influencia se ha irradiado notablemente.

e) la competencia local en otros campos de la ingeniería. Gran cantidad de universidades argentinas (muchas más de las académicamente necesarias y competentes) otorgan el diploma de ingeniero civil, con diferentes niveles de calidad, diversas orientaciones y numerosos probables campos de acción. Muy pocas de ellas ofrecen la posibilidad de un ingeniero con una formación básica sólida en mecánica de los fluidos y un panorama integral de las aplicaciones de la hidráulica, ciencia a la que confluyen varias especialidades bien diferentes.

Los ingenieros hidráulicos del siglo veinte han diseñado y construido algunas de las mayores estructuras existentes en el mundo. Para ello, han demostrado poseer los conocimientos técnicos adecuados de fundaciones, hidrología, hidráulica, etc. que los cursos convencionales universitarios y postuniversitarios pueden brindar en diversas partes del planeta. Muy recientemente un equipo de expertos publicó un interesante artículo (Kobus et al, 1994) en el que se comenta que los ingenieros hidráulicos deben estar preparados para describir y cuantificar los procesos físicos del ambiente, tomando en consideración los efectos químicos y biológicos. Sus proyectos no sólo implicarán condiciones de diseño, como el máximo arrastre de fondo de un río o la crecida de proyecto, sino también el comportamiento bajo una variedad de condiciones de ocurrencia natural. Un análisis del impacto ambiental requiere un cúmulo de información proveniente de otros campos de la ciencia, por lo que el ingeniero debe interactuar como parte de equipos que incluyen naturalistas, sociólogos y planificadores.

Como elemento clave de la propuesta, este cambio en los objetivos y en los fines debe ser reflejado en el camino que se fije para la formación del ingeniero hidráulico del futuro. En consecuencia, se solicita la reflexión de los responsables de la docencia en ingeniería a efectos de revisar de modo conveniente sus programas de estudio.

Como medio de cumplimentar con ese criterio, el grupo de trabajo de la IAHR (Kobus et al, 1994) propone incluir los tópicos de la curricula en cuatro grupos:

- a) Ciencias Básicas, compuesto por matemáticas, física (mecánica de los fluidos), química, biología, economía, informática, computación y ciencias sociales;



- b) Ciencias de la Tierra, compuesto por meteorología, hidrología, oceanografía, geología y geo-ecología;
- c) Ciencias de la Ingeniería, compuesto por hidráulica, ingeniería hidrológica, estructuras, mecánica de suelos y métodos de planificación;
- d) Aplicaciones de Ingeniería Hidráulica, compuesto por estructuras hidráulicas, hidráulica industrial, hidráulica urbana, hidráulica fluvial, hidráulica marítima, hidráulica subterránea, ingeniería de hielos, hidráulica ambiental e ingeniería de los recursos hídricos.

Tal como el grupo de trabajo del IAHR lo aclara, cada país tiene sus propios aspectos de interés y sus propias experiencias, de modo que no es posible proponer una currícula de uso general o de aplicación y recomendación internacional.

A pesar de lo completo del análisis de ese trabajo, se observan los vestigios de una antigua concepción del ingeniero, pues incluyen "planning of water resources projects" en lugar de considerar el caso general de "planificación ambiental".

Sin embargo, es realmente importante enfatizar que la presencia de química, biología y ciencias sociales (debería estar aclarado su objetivo) como ciencias básicas, ecología (y no sólo geo-ecología) entre las ciencias de la tierra, métodos de planificación entre las ciencias de la ingeniería y los temas de hidráulica urbana, industrial y ambiental deberían ser sugeridos como de principal relevancia en la currícula de los ingenieros hidráulicos en la República Argentina.

En consecuencia, quien participe en la elaboración de planes de estudio de ingeniería hidráulica deberá acreditar suficiente experiencia real en estudios de carácter ambiental (no exclusivamente de ingeniería sanitaria) para definir y acotar el alcance de las materias que incluyan esos aspectos, de modo de optimizar la calidad de conocimientos a brindar a los estudiantes.

Además, el docente encargado de las materias ambientales deberá formarse no sólo en esos temas sino en su conexión con la ingeniería, lo que hará necesario "fundar" nuevas cátedras y conformar sistemas de formación de profesores y auxiliares. Como la implementación de la propuesta que se desarrolla en este trabajo puede demorar varios años se recomienda fortalecer y motivar los cursos para graduados que tiendan a paliar el déficit observado.

## CONCLUSIONES

Como corolario de la revolución electrónica, el ingeniero hidráulico se verá con instrumental electrónico en constante cambio, con tecnologías de vanguardia que se van a ir agregando a su bagaje de herramientas. Deberá por lo tanto conocer los fundamentos de los principios físicos que sustentan el funcionamiento y deberá estar capacitado para dominar su manejo en el caso en que sea requerido. Para ello, los laboratorios de las Universidades deberán contar con equipamiento adecuado, a la vez que se deberá promover las prácticas de campaña, de modo de incorporar las nuevas técnicas de medición y adquisición de datos.

Por otra parte, la revolución informática obliga al conocimiento del uso de la computadora por parte del Ingeniero Hidráulico, al menos, en sus aspectos básicos.

Dado lo vertiginoso de los cambios que se están gestando y a modo de comentario general, cabe pensar que sólo un profesional con una sólida formación básica puede afrontar con éxito el devenir actual. En consecuencia, se sugiere poner el énfasis en las materias formativas de la carrera (que habitualmente ocupan los primeros años).

Las diversidades de intereses, posibilidades técnicas, económicas y de recursos humanos de los países del globo es tan vasta que no es posible establecer un programa o currícula única para todo el mundo. Sin embargo, es obvio que deberá en todos los casos plantearse los temas ambientales. Se estima que debe desalentarse los esfuerzos actualmente en boga a nivel universitario para crear nuevas carreras de "especialistas en ciencias ambientales", tomando en cuenta la necesidad de conformar grupos transdisciplinarios para los estudios que hoy se requieren.

La revolución ambiental invita a incluir "temas ambientales" (biología básica e introducción a las ciencias sociales, por ejemplo) en la carrera de Ingeniería Hidráulica, en las etapas iniciales de los cursos de grado. Naturalmente, el alcance y contenidos de estos nuevos temas deberán estar claramente acotados porque son disciplinas poco frecuentes en las carreras de Ingeniería. Por ello, debe procurarse que los conceptos que se viertan sobre el particular tengan especial vinculación con la Ingeniería, de modo de motivar al alumno y brindarle una globalidad de visión que, de seguro, le será de utilidad en los estudios de impacto ambiental, al tiempo que le permitirán interactuar con profesionales de otras disciplinas.

En estos días, el "conocimiento ambiental" al que se alude está siendo transmitido mediante cursos de post-grado que suplen la carencia de la formación de grado de los profesionales y que se orienta hacia la identificación

“impactos ambientales” en grupos transdisciplinarios. Al respecto, podría preguntarse si son suficientes o es necesario implementar materias de grado en tópicos ambientales. El presente trabajo se alinea en la segunda de esas propuestas, por entender que el concepto ambiental debe estar presente en toda etapa de un proyecto de Ingeniería Hidráulica, lo que sólo es posible si el estudiante lo advierte desde su formación inicial (cursos primarios y secundarios) y lo profundiza en su formación universitaria.

En efecto, la idea de la preservación del ambiente debe constituir una “verificación” más de la bondad de todo proyecto hidráulico, así como se verifica que las obras sean diseñadas y construidas con la capacidad hidráulica y estructural necesarias. Se cree importante subrayar que no se dará satisfacción a las ideas de una formación ambiental con sólo agregar una materia que se llame, por caso, “Ecología” o “Ingeniería ambiental” si no se comprende la real necesidad de educar con el concepto de desarrollo sustentable como marco. Además, muy probablemente esa materia sería tomada como complemento, lo cual se contrapone con el interés de su inclusión (Lopardo, Bomardelli).

El concepto ambiental debería estar presente en todos los pasos de un proyecto hidráulico, como un requerimiento adicional, para que los estudiantes puedan incorporar correctamente esa visión. Para ello, sería mucho más efectivo que una “cátedra” dedicada a temas ambientales de la ingeniería especialmente conformada contribuyera a la adecuada “formación” temática de los “formadores” de ingenieros hidráulicos, que son los profesores de las materias de la especialidad, donde aparecerán los tópicos ambientales.

De todo lo expuesto surge como indispensable replantear los campos temáticos que hoy componen la formación de grado del ingeniero hidráulico, tendiendo gradualmente a diferenciarlo del ingeniero civil convencional, de modo tal que a expensas de algunos temas de ingeniería civil (y jamás disminuyendo su calidad ni nivel básico ni en temas específicos de hidráulica) adquieran mayor conocimiento aplicado a su gestión respecto de biología, ecología y ciencias humanísticas, que le posibiliten estar a la altura de los requerimientos que le plantea la sociedad del fin del Siglo XX, para aceptar el desafío de la próxima centuria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Lio, J.C., Menéndez, A.N., Loschacoff, S.C. (1989): Un ejemplo de la complementación entre modelación física y matemática. X Congreso Nacional del Agua, Córdoba .

Hiño, M (1977): *Eco-hydraulics. An attempt*, Proc. XVII IAHR Congress. Baden Baden, Alemania, Vol. 6, pag. 178-208.

Jorfh, P., Kobus, H., Nachtnebel, H. P. ,Nottage, A . y Robarts, R.: *Relating hydraulics and ecological*

*processes*, en Journal of Hydraulic Research. Vol. 29, extra issue, pag. 8-19.

- Kobus, H., Shen, H.W., Piate, E. (1994) y Szollosi,-Nagy, A: *Education of hydraulic engineers*, Journal of Hydraulic Research. Vol. 32, N°2, , pag. 163-181.
- Levi, E. (1985): *El agua según la ciencia*, Scrics del Instituto de Ingeniería, D24, UNAM, México D. F.
- Loman, G., Bezemer, B. y Noorbergen, H. (1992): *Mapping Bathymetry and Suspended Sediment Using Sateülte Imagety, Terra et Agua*, International.Journal on Public Works. Ports & Waterways Developments. N°48,.
- Lopardo, R.A. (1989): Recientes aportes de la Hidráulica experimental argentina. Conferencia con motivo del premio “Ing. Enrique Butty”, Academia Nacional de Ingeniería, Buenos Aires,pag. 119-132.
- Lopardo, R.A., Bombardelli, F.A.: *Consideraciones sobre la inclusión de temas ambientales en la enseñanza de la Ingeniería Hidráulica*, Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Santiago. Chile. Vol. 4, pag. 411 a 421.
- Lopardo, R.A., Bombardelli, F. A. y de Lio, J.C. (1993): *Laboratorio de hidráulica e ingeniería ambiental*, en Anais do I Simposio de Recursos Hidricos do Cone Sul. Gramado, Brasil,, Vol. 5, pag. 145-153.
- Malinow, G.V. (1991): La seguridad de presas existentes durante crecidas extraordinarias. Defensa Civil, Ministerio de Defensa, Dirección Nacional de Defensa Civil, Buenos Aires, Año 1, N° 1.
- Murillo, LA. (1987): *The scourge of scourt*. Civil Engineering. july , New York, pag. 66-68.
- Petersen M.S. (1986): River engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.,.
- Plate, E.J.(1987): *The role of research in hydraulic engineering*, IAHR Bulletin, Vol. 4, N° 1, pag.14.
- Starosolszky, O. (1991 ): *Hydraulics and environment. Introduction* Journal of Hydraulic Research. Vol. 29, extra issue, pag. 5-7.
- Tangelson,O.: *Revolución tecnológica y empleo*, Ciencia. Tecnología e Innovación, pg. 17-36.
- Toffler, A. (1993): La tercera ola. Plaza & Janes Editores, S. A., Novena edición, Barcelona, España.