

disponibilidad de recursos hídricos poniendo de manifiesto las limitaciones que la falta de agua pueden imponer. Desgraciadamente, debido a las fuertes restricciones económicas en un número cada vez mayor de países africanos, se están retrasando los planes de desarrollo hidráulico.

En 1987, un estudio de las Naciones Unidas analizó el flujo de fondos para los proyectos de desarrollo de los recursos hídricos dentro del sistema de organizaciones de las Naciones Unidas, entre 1973 y 1985. Los desembolsos habían crecido para todos los países en desarrollo (incluyendo los de Africa) de 31 millones de \$ EE.UU. en 1973 a 184 millones de \$ en 1985. Lo que supone un crecimiento anual del 16.9 por ciento en el período.

Es significativo que el crecimiento anual de los desembolsos para la estimación de los recursos hídricos subió sólo un 7,6 por ciento, escasamente suficiente para compensar la inflación. En términos reales, estos desembolsos disminuyeron a un ritmo promedio anual de 1,4 por ciento entre 1975 y 1985. Esto demuestra que no se ha ganado la lucha para mejorar las actividades de evaluación de los recursos hídricos. Si no cambia la tendencia, la concentración, transmisión, proceso, archivo y difusión de los datos

nacionales seguirán sufriendo deterioro.

El estudio de las Naciones Unidas concluye que, a pesar del aumento de los desembolsos de la comunidad internacional, los niveles mundiales están muy lejos de lo que se estimó que era necesario con ocasión de la Conferencia del Agua, de las Naciones Unidas, en 1977. Se estima que la inversión en la evaluación de los recursos hídricos es sólo un dos por ciento de lo necesario, mientras que la inversión en agua potable y saneamiento es sólo un cinco por ciento de lo necesario. Por lo que respecta a irrigación y desecación, las necesidades de financiación son 15 veces superiores a los actuales desembolsos anuales.

Es evidente que no se puede esperar que los gobiernos de Africa aumenten sus inversiones en el sector del agua en un próximo futuro, debido a las dificultades económicas y ajustes estructurales que están sufriendo. Así pues, es necesario que los gobiernos empiecen a aplicar una política de recuperación de costos, gradual pero firme, en el sector del agua. Esto no puede conseguirse de la noche a la mañana, pero es un objetivo que se debería alcanzar en un período de cinco o diez años.

## LA ENSEÑANZA Y LA FORMACION PROFESIONAL DE LOS HIDROLOGOS

Por J.E. NASH\*

Cuando mi amigo, el Dr. John Rodda, me pidió que escribiera brevemente sobre este tema, y después de que hube tenido tiempo de ordenar mis ideas sobre la materia, mi primera reacción fue lucubrar sobre el título.

"Enseñanza" es seguramente un asunto personal, apropiado en un sentido indistinto para gran diversidad de profesionales. Sin embargo, una adecuada "formación profesional" debe reflejar las actividades que se espera que tenga que realizar un profesional cualificado. En el contexto hidrológico, estas actividades son muy diversas y, quizás, la

dificultad para determinar la formación profesional adecuada para los hidrólogos y las dudas sobre este tema que son tan características de nuestra profesión, puedan deberse a la inviabilidad de proporcionar un único tipo de formación profesional para una profesión que oscila entre una ciencia y una tecnología y, por lo tanto, sus practicantes entre científicos e ingenieros. Quizás, como en las profesiones legales de muchos países, sean necesarias dos ramas distintas.

"Ciencia" implica "conocimiento", y la investigación científica básica implica la

\* Profesor de ingeniería hidrológica, University College, Galway (Irlanda).

profundización progresiva en ese conocimiento mediante la observación de las regularidades y de las configuraciones de los fenómenos, y su explicación en términos de los principios generales más amplios. Necesariamente, dicha investigación debe ser empírica, confiando en la especulación, la observación y la experimentación, porque no se conocen principios más profundos de los que se puedan extraer consecuencias, como en una ciencia aplicada. La ciencia aplicada camina en sentido opuesto, esto es, sintetizando relaciones y configuraciones a partir de los principios conocidos. Por lo tanto, existe una paradoja en que la ciencia aplicada sea, en cierto sentido, más científica y menos empírica de lo que lo es una investigación científica básica.

Desde hace tiempo, la profundización progresiva de la investigación científica básica está dejando atrás a los fenómenos de la hidrología. Los principios subyacentes de los que dependen los fenómenos hidrológicos son bien conocidos y no se verán ampliados posteriormente a causa del progreso de dicha investigación. Por lo tanto, la hidrología es, en el mejor de los casos, una ciencia aplicada relacionada con la aplicación de principios bien conocidos para obtener predicciones y establecer relaciones entre los fenómenos del campo que se le haya asignado arbitrariamente. Sin embargo, dicha aplicación presenta a menudo dificultades insuperables debido a que la complejidad de las condiciones límite requiere una prescripción extensa y una gran cantidad de cálculos. ¿Quién querría intentar aplicar las ecuaciones de Navier-Stokes al movimiento del agua en un sistema de flujo de una cuenca de captación, aunque fuera moderadamente pequeña?

Un método para superar esta dificultad sería el de aplicar los principios a condiciones límite simplificadas y generalmente prometidas. Pero este método está sujeto al riesgo de que las relaciones y las configuraciones entre los promedios no sean siempre las mismas que las existentes entre los valores puntuales entre sí. Esta dificultad real bien puede que disuada a los hidrólogos de ser más científicos (en el sentido de estar más dedicados a aplicar los principios científicos conocidos) más que, como se ha afirmado algunas veces, que no estén suficientemente familiarizados con estos principios.

Por la razón que sea, los hidrólogos tradicionalmente han tendido a confiar en un

método empírico más adecuado para la investigación científica básica y a buscar en los registros de las observaciones de sus fenómenos (al ser la experimentación difícilmente posible) configuraciones y relaciones, como si la hidrología fuera ella misma una ciencia básica y un campo adecuado para la investigación básica. Este método algunas veces está justificado sobre la base de que el "reconocimiento" puede existir a niveles o escalas diferentes, de forma que aunque un fenómeno se conozca totalmente a escala microscópica, puede que nuestro conocimiento a escala macroscópica todavía sea incompleto.

Dudo de si éste es un concepto válido, no de si su validez es necesaria para justificar el método de los hidrólogos. Ni creo que se pueda culpar a los hidrólogos, ni que se pueda criticar su dedicación al método científico por la pequeñez de sus logros. ¿Quién puede predecir el resultado de una investigación científica? Por otra parte, quizás se nos pueda reprochar nuestra ocasional falta de rigor al aplicar el método científico. ¿No nos hemos contentado con tomar datos de la precipitación, la evaporación y el caudal, obtenidos en condiciones muy dudosas y con una precisión también muy dudosa y con utilizarlos como si fueran realmente observaciones científicas? ¿No hemos continuado utilizando técnicas primitivas para medir nuestras magnitudes primarias? ¿No hemos fallado al alertar a los ingenieros electrónicos a que desarrollen técnicas de medida adecuadas a nuestros propósitos, por ejemplo la medida de evaporación como un flujo de vapor vertical o la precipitación como un flujo líquido vertical?

En muchos de nuestros estudios hemos empleado el concepto de cuenca de recepción como un volumen de control dentro del cual, y a partir del cual, los flujos de masa y de energía son conservativos, despreciando a menudo la posibilidad real de filtraciones de agua más allá de la estación de medida. No siempre hemos revisado nuestras hipótesis, ni siempre hemos analizado los errores resultantes de su aplicación para ver cómo podrían mejorarse las hipótesis. Por el contrario, hemos tendido a aceptar cualquier hipótesis que nos proporcionase una reproducción que se ajustase al comportamiento observado. Aunque puede que hayamos tendido a confiar excesivamente en el método empírico, descuidando lo que podría lograrse mediante una síntesis de los principios científicos

generales (y despreciando quizás las restricciones impuestas por estos principios en la formulación de modelos empíricos), creo que el método empírico todavía tiene un papel en la creación de relaciones y modelos en un campo hidrológico concreto.

Donde quiera que esté el origen de nuestros defectos, se deben buscar mejoras en la aplicación del método científico en la hidrólogía empírica y una mayor confianza en el uso de los principios científicos establecidos en la hidrólogía aplicada, a través de las mejoras en la formación científica de los hidrólogos. Esto no es probable que ocurra mientras que los hidrólogos procedan de cursos "de relleno" para posgraduados, habitualmente con una formación en ingeniería civil. Todavía es menos probable que se alcancen estas mejoras mediante el desarrollo de la hidrólogía en los departamentos de geografía o de medio ambiente.

Si la hidrólogía tiene que desarrollarse como una ciencia natural, parece que la tarea de llevar a cabo esto debe confiarse a personas con una formación científica más firme que hasta ahora. O bien los hidrólogos deben llegar a ser más científicos o bien deben aceptar que las tareas principales de la hidrólogía científica deban confiarse a equipos de científicos formados en las disciplinas básicas de la física, la química, la mecánica de fluidos y, quizás, la biología, y que como tal estas tareas se practiquen dentro del contexto hidrológico, pero no por parte de los hidrólogos. Incluso si esperamos que eventualmente las tareas más importantes y difíciles dentro del contexto hidrológico recaigan de forma natural sobre el hidrólogo profesional, entonces debemos concebir una formación profesional adecuada para el hidrólogo científico, quizás dentro de los departamentos de ciencias de la Tierra, los "más duros" de la universidad.

Mientras tanto, parece que no hay duda de que los hidrólogos que se dediquen a la hidrólogía aplicada continuarán formándose principalmente en las escuelas de ingeniería, sencillamente porque los problemas hidrológicos se presentan fundamentalmente en las operaciones de ingeniería. En la actualidad se está impartiendo alguna enseñanza de la hidrólogía, habitualmente de forma muy somera, en los programas de ingeniería civil para estudiantes aún no graduados. Puede que los programas de la ingeniería del medio ambiente presten un poco más de atención a la

hidrólogía, pero también éstos tienen esencialmente su origen en la ingeniería civil. Normalmente, se proporciona un mayor conocimiento hidrológico en los niveles de posgraduados, a menudo en cursos internacionales financiados por la Unesco y la OMM. Habitualmente son de corta duración, rara vez sobrepasan un año de instrucción oficial, y se podría criticar el que sean principalmente cursos de conversión y de relleno. Uno sospecha que la crítica puede que esté justificada, incluso aunque una lectura de las recomendaciones de la Unesco para dichos cursos revele unos planes de estudio y unos programas increíblemente amplios. Hay un límite a lo que se puede hacer en cursos tan cortos, especialmente si a los participantes les falta una base científica adecuada. Aunque una espera de mejoras continuas, sería temerario anticipar ningún cambio destacable en la formación de los hidrólogos mediante tales cursos, en un futuro próximo.

Una formación profesional específica de varios años de duración para no graduados, bien en hidrólogía aplicada o en hidrólogía científica, en general no parece que fuera muy apropiada. Para restringir el interés por la hidrólogía tendrían que ser mayores el conocimiento científico y la pericia en la ingeniería. Para un estudiante de una carrera hidrológica no es necesario ni deseable dicho compromiso preliminar. También parecería excluirlo la cantidad de hidrólogos que se necesitan cada año. Es mucho mejor que un aspirante a hidrólogo emprenda una formación profesional amplia en ciencias puras o en ingeniería, de acuerdo con su preferencia, y que quienes lo deseen, aprovechen posteriormente las oportunidades para especializarse en hidrólogía, bien como científicos o como ingenieros. Creo que la única diferencia útil que se puede hacer en este momento entre los hidrólogos científicos y los dedicados a la hidrólogía aplicada, es que aquéllos se forman en los departamentos de ciencias de la Tierra y éstos en las escuelas de ingeniería. Tendría que haber vínculos más estrechos entre los dos grupos para fomentar que el hidrólogo científico transvase su información al dedicado a la hidrólogía aplicada, y hacer posibles cursos para que el progreso alcanzado por los primeros influya en los últimos.