

# EVOLUCIÓN DE LAS NECESIDADES DE FORMACIÓN EN EL CAMPO DE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.

Quaderns  
d'enginyeria

3(1981) 1 p.77-92

E. Custodio\*  
M. Martín A.\*\*

## RESUMEN

La Hidrología Subterránea como ciencia y técnica ha avanzado rápidamente en los últimos 20 años y ha incorporado métodos y herramientas de alta eficacia y especificidad. Por otro lado ha aumentado claramente el nivel inicial de conocimientos sobre el tema de buena parte de los posibles interesados en adquirir una formación específica en Hidrología Subterránea. Esta situación cambiante afecta a los cursos de postgraduados, que necesitan ir aumentando progresivamente el contenido, extensión y profundización hasta el momento en que en el espacio temporal disponible, la carga docente es ya excesivamente fuerte. Entonces se requiere una remodelación y una selección de objetivos, manteniendo un carácter compacto e intensivo, que es necesario para que personas de diferentes regiones, países y aún continentes puedan participar. En el texto se comenta la experiencia de 14 años del Curso Internacional de Hidrología Subterránea de seis meses de duración que se desarrolla en Barcelona, España. El enfoque se ha ido centrando en la utilización racional de los recursos de agua subterránea con preferencia a otros temas, incluidos los de perforación. Con vistas al futuro, dado el carácter propio interdisciplinar de la Hidrología Subterránea y la conveniencia de que así sea con el fin de disponer de equipos de trabajo de amplio espectro, parece que la mejor solución es la estructuración de una formación específica en el tema a nivel de tercer ciclo, con dos años de duración, en la que solo de 1/3 a 1/2 del tiempo sea dedicado a la Hidrología Subterránea, dedicándose el resto a temas conexos propios de la especialidad inicial de cada participante.

## ABSTRACT

The Groundwater Hydrology, as a science and as a technique, has progressed fast in the last 20 years, and has incorporated methods and tools of a high efficacy and specificity. Also, the initial level of knowledge on the matter of a good deal of the possibly interested people in getting a specific formation on Groundwater, has clearly increased. This changing situation affects the postgraduate courses, which need to increase progressively their contents, extension and depth, until the moment in which, in the available time span, the teaching load becomes excessive. Then a reshaping and an objective selection is needed though a compact and intensive form must be maintained in order to allow the participation of people coming from other areas, countries and still continents. In the paper, the 14 years experience of the International Groundwater Course is shown. It is given in Barcelona, Spain, with a six month duration. The focus has been toned towards the rational use of the groundwater resources with preference to other topics, included those related with drilling. In the future, since the groundwater Hydrology has an intrinsic interdisciplinary character and it is convenient to maintain it in order to have working teams of a broad spectrum, it seems that the best solution is to build a specific kernel on the matter placed at the master degree, of two year duration, in which only 1/3 to 1/2 of the total available time is devoted to the Groundwater Hydrology, the rest being devoted to related topics, but corresponding to the background speciality of every participant.

## 1.- INTRODUCCION

A pesar del gran interés que los pueblos antiguos tuvieron por las aguas subterráneas y

Trabajo aportado al número especial dedicado al Profesor Enric Freixa. Como ponencia ha sido presentado en el "Simposio Agua Siglo XXI", celebrado en Madrid del 8 al 13 de septiembre de 1980, bajo el patrocinio de UNESCO y al Comité Español para el Programa Hidrológico Internacional.

\* E.C. Dr.Ing. Industrial.

\*\* M.M.A. Dr.Ing. Montes/Lic. en Derecho

de las notables sofisticaciones que desarrollaron para su captación y utilización, dentro de las posibilidades de la tecnología que ellos poseían, las aguas subterráneas han sido una componente del ciclo del agua en la naturaleza a la que se ha prestado insuficiente atención, en claro contraste con su indudable interés y frecuentes ventajas en comparación con otras formas alternativas de agua. Aunque su explotación ha alcanzado en muchos lugares un notable desarrollo, con frecuencia se ha hecho con falta de tecnología apropiada, bajos rendimientos, relativos fracasos, y lo que es peor, con una falta de conexión entre los recursos disponibles según un marco socioeconómico determinado, la explotación de agua planteada y la utilización del territorio.

Problemas de sobreexplotación incontrolada, de intrusión marina, de excesivo descenso de niveles freáticos y piezométricos, de contaminación, de subsidencia y hundimiento del terreno y de destrucción o alteración de áreas de interés ecológico son comunes a todos los países y regiones.

Esta situación es en buena parte debida a la falta de espectacularidad de las obras de aprovechamiento y gestión de las aguas subterráneas y a su gran dispersión territorial, frente a las monumentales y aparatosas obras de captación y aprovechamiento de las aguas superficiales (6) (12) (13). Pero también en buena parte es debido a que las aguas subterráneas no son directamente visibles y medibles y a una falta general de conocimientos básicos sobre sus leyes y características a nivel popular, y en notable parte también a nivel de técnicos y científicos. Aún hoy están muy difundidos conceptos erróneos heredados de mitos antiguos y de observaciones incorrectas en situaciones atípicas, que miden o dificultan una correcta gestión de los recursos de agua en su aspecto subterráneo y aún en su aspecto global (14).

A pesar de que existen publicaciones y textos de estudios y evaluación de las aguas subterráneas en varias lenguas ya desde finales del siglo XIX y aún desde antes (14) y de que varios organismos y universidades han mantenido centros de formación, el ambiente ha sido mas bien restringido y parcial (24) (25) (20).

El cambio más acusado hacia una corrección de las situaciones enunciadas, incluso en los países que se pueden considerar desarrollados, se produjo a principios de la década de 1960 y en buena parte ha estado ligado a las recomendaciones del Decenio Hidrológico Internacional de UNESCO (21), hoy continuado como Programa Hidrológico Internacional. Numerosos Comités Nacionales y centros de desarrollo e investigación han iniciado actividades de formación de sus cuadros en su propio lugar de trabajo o acudiendo a instituciones de otras regiones o países que han tomado a su cargo la corrección del desequilibrio de conocimientos existente, lo cual han conseguido con notorio éxito y eficacia (21) (23) (24).

## 2.- LOS CURSOS DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Dentro del ámbito antes expuesto se han ido creando diversos cursos de formación sobre la Hidrología Subterránea. Buena parte de estos cursos se han incorporado o acoplado a estudios preexistentes de ingeniería o de licenciatura, en general de ingeniería civil, agronómica e industrial o de geología, aunque en algunos casos existen titulaciones específicas de ingeniería hidráulica o de recursos hidráulicos. En general se dispone de un tiempo muy reducido y solo es posible desarrollar parcialmente un cierto aspecto de la Hidrología Subterránea o dar un panorama general, sin profundizar en los diferentes temas (23). Dificilmente se cubre el vasto espectro que se requiere en la actividad profesional, si bien se sientan las bases mínimas (5).

Los cursos de postgrado en Hidrología Subterránea tienen carácter más profundo ya que disponen de mayor tiempo, pero son pocos los que existen actualmente, en especial con carácter permanente. Los cursos de postgrado en Hidrología General, aunque con intensidad reducida, incorporan en general, y cada vez con mayor entidad, lecciones sobre Hidrología Subterránea, en buena parte porque los propios participantes los solicitan, en especial aquellos que proceden de países pobres.

La estructura general de un curso especializado sobre Hidrología Subterránea comprende entre 100 y 250 horas lectivas, más prácticas y ejecución de un trabajo real, desarrolladas a lo largo de 3 a 6 meses, y normalmente tiene carácter muy intensivo (8) (15) (25).

No se trata aquí de enumerar esos cursos ya que UNESCO y otros organismos han realizado diversas síntesis que se relacionan en las referencias bibliográficas sobre cursos de hidrología en sus múltiples aspectos (11) (21) (23).

Con frecuencia se trata de cursos destinados a titulados superiores, aunque pueden también aceptar titulados medios con experiencia. Los cursos para operarios, personal técnico y laborantes son más escasos y esporádicos, en especial en el campo de las aguas subterráneas, y éste es uno de los vacíos más importantes existentes, que va de la mano de la falta de estructuras de estudio, toma de datos y control sistemático. UNESCO también ha dedicado a este tema numerosos esfuerzos, aunque no existe una regularidad de actuaciones en los países en los que las tareas se han iniciado (4).

Con frecuencia existe un problema de transferencia tecnológica entre los especialistas y el personal de campo y de administración, y también hacia el usuario, que es el que tiene que aceptar, aprobar y colaborar con los planes de actuación (1) (17). Una de las facetas más interesantes de esa transferencia de tecnología a los futuros hidrólogos es el entrenamiento mientras se desarrolla el propio trabajo (10). Otra interesante faceta es

la instrumentación de cursos de formación para aquellas personas que sin ser técnicos o cuya misión no es estrictamente técnica, deben tomar decisiones de gestión (9)(16).

El número de publicaciones disponibles sobre Hidrología Subterránea es rápidamente creciente en número y en calidad (14) (22), y cubren un amplio espectro de lenguas, hoy suficiente para la mayoría de países, aunque el desarrollo de otros medios de enseñanza no es tan satisfactorio (18)(19).

### 3.- NECESIDADES DE FORMACION A NIVEL SUPERIOR

Las necesidades de formación a nivel superior en el campo de la Hidrología Subterránea deben considerarse dentro de su carácter multidisciplinar. Un Hidrólogo de Aguas Subterráneas o un Hidrogeólogo en mayor grado deben tener conocimientos suficientes de Geología y Geomorfología, de Matemáticas, Cálculo Numérico y Estadístico, de Hidráulica e Hidrodinámica, de Hidrología General y de Superficie, de Hidroquímica y de Geoquímica, incluyendo los aspectos isotópicos y radioquímicos, de Mecánica y Resistencia de Materiales y de Economía, Planificación y Administración, además de los de cartografía, reconocimiento, proceso de información y redacción de informes, necesarios para plasmar su trabajo en documentos.

El campo es vasto y solo pueda ser abarcado a título de formación general, pero no en profundidad, salvo en unos aspectos concretos, que guardan relación con la formación universitaria de base del individuo. Por ello la profesión no es exclusiva de una única titulación universitaria o de unas pocas (5)(6 bis). No solo puede admitir muchos tipos de formaciones básicas, sino que las debe incluir con el fin de que ciertos aspectos no dejen de ser cubiertos con profundidad suficiente. Es patente que hasta épocas recientes los aspectos químicos, en especial los hidroquímicos, han sido insuficientemente tratados, dejándose de potenciar una de las herramientas de estudio del flujo del agua subterránea más útil y económica, y aún hoy en día no existe una tecnología hidrogeoquímica bien establecida, en clara contraposición con el gran desarrollo de las técnicas hidrodinámicas, de perforación y geofísicas. El campo de la microbiología de las aguas subterráneas es aún un campo por desarrollar, y son muy pocos los biólogos que poseen suficientes conocimientos de Hidrología Subterránea como para aprovechar y compartir los conocimientos de los otros profesionales que trabajan en el mismocampo, y poder aportar nuevas herramientas de estudio, evaluación y previsión.

Esta diversificación se encuentra también en los múltiples objetivos de la Hidrología Subterránea. El más común e importante de ellos es el de los Recursos Hidráulicos en cuanto a su exploración, aprovechamiento, gestión, administración y protección tanto en cantidad como en calidad, pero existen otros objetivos de carácter agrícola, de drenaje,

de protección o de construcción de obras públicas, de desarrollo minero, de estableci- mientos urbanos e industriales y de preservación de áreas ecológicas que atraen a pro- fesionales de muy diferente formación básica y que tienen mucho que ver con esas activi- dades conexas. Entre ellas existe además la ingeniería militar, cuya misión es no solo la de recursos de agua subterránea para sus propios servicios y necesidades, sino el in- ventario, protección y conservación de los acuíferos con valor estratégico.

Tomando como base el Curso Internacional de Hidrología Subterránea, que se desarrolla en Barcelona ininterrumpidamente desde 1967, es fácil reflejar la variedad de formaciones básicas de sus 350 graduados. Aunque la situación geográfica y el carácter de los orga- nismos patrocinadores (&) hace que sea más frecuentado por unos titulados que por otros que tienen actividades análogas en relación con la materia (por ejemplo Ingenieros de Ca- minos, Canales y Puertos, sobre los de Minas), al no estar plenamente ligado a ninguna Facultad o Escuela Especial específica, permite que la muestra sea acertadamente repre- sentativa. Clasificando las titulaciones se llega a la siguiente relación de la tabla 1, en la que aparece un razonable equilibrio de interés entre titulaciones técnicas y de fa- cultad universitaria, lo que demuestra el hecho ya claramente confirmado en la experien- cia de dicho curso, de que el tandem ingeniero-geólogo es el equipo más adecuado para po- der abarcar y desarrollar la problemática a resolver. No existe una tendencia evolutiva clara a lo largo del tiempo y la diversificación de titulaciones de Ingeniería Superior no es más que el reflejo de la introducción de nuevas especialidades en otros países, pues en España la flexibilidad es actualmente nula.

#### 4.- EVOLUCION DE LAS NECESIDADES DE FORMACION A NIVEL SUPERIOR

La evolución de las necesidades de formación a nivel superior en el campo de la Hidrolo- gía Subterránea viene condicionada por:

- a) El rápido mejoramiento y profundización del nivel de conocimientos como ciencia y téc- nica.
- b) La introducción de nuevos sistemas o de ciertos métodos mejorados de evaluación, es- tudio, explotación y gestión.
- c) La rápidamente creciente demanda de agua subterránea, en especial en zonas difíciles,

---

(&) Universidad Politécnica de Barcelona, tres organismos de la Dirección General de Obras Hidráulicas (Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental, Servicio Geológico de Obras Públicas y Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental) y la Escuela de Hidrología y Recursos Hidráulicos del Instituto de Hidrología.

tales como las áreas costeras y las áridas.

d) La mayor preocupación por el medio ambiente, tal como la conservación de áreas pantanosas y lacustres y la conservación de caudales de estiaje de los ríos.

e) La mayor envergadura de las obras civiles, construcciones y explotaciones mineras, que requieren una mayor precisión en el conocimiento, efectos y manejo de las aguas subterráneas.

f) El mayor conocimiento de base sobre hidrología de parte de los profesionales de diversas titulaciones que acuden a los cursos de formación de postgrado.

TABLA 1.- RELACION DE TITULACIONES DE LOS PARTICIPANTES EN EL CURSO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA, BARCELONA, DESDE 1967 A 1980 (CURSOS I A XIV)

<u>Ingenieros Superiores</u>							<u>Licenciados</u>						
<u>Especialidad</u>	<u>Cursos</u>						<u>Facultad</u>	<u>Cursos</u>					
	<u>I-XIV</u>		<u>I-VII</u>		<u>VIII-XIV</u>			<u>I-XIV</u>		<u>I-VII</u>		<u>VIII-XIV</u>	
	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>		<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>
Civil (1)	75	22	41	23	34	20	Geología	159	46	76	43	83	50
Industrial (2)	23	7	16	2	7	4	Física	8	2	5	3	3	2
Minas (3)	11	3	9	5	2	1	Química	7	2	1	-	6	4
Agronomía (4)	15	4	11	6	4	2	TOTAL	174	51	82	47	92	55
Otros (5)	11	3	3	2	8	5	<u>Ingenieros Militares</u>						
TOTAL	135	39	80	45	55	33	<u>Especialidad</u>						
<u>Ingenieros Técnicos</u>							<u>Cursos</u>						
<u>Especialidad</u>	<u>Cursos</u>						<u>Ingenieros</u>	<u>Cursos</u>					
	<u>I-XIV</u>		<u>I-VII</u>		<u>VIII-XIV</u>			<u>I-XIV</u>		<u>I-VII</u>		<u>VIII-XIV</u>	
	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>		<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>
Obras Públicas	16	5	9	5	7	4	2	1	-	-	2	1	
Industrial	5	1	2	1	3	2	<u>RESUMEN</u>						
Minas	11	3	3	2	8	4	<u>Cursos</u>						
Agricultura	3	1	-	-	3	2	<u>I-XIV</u>		<u>I-VII</u>		<u>VIII-XIV</u>		
TOTAL	35	10	14	8	21	12	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	<u>nº</u>	<u>%</u>	
							Ingenieros Superiores	135	39	80	45	55	33
							Licenciados	174	51	82	47	92	55
							Ingenieros Militares	2	-	-	-	2	-
							Ingenieros Técnicos	35	10	14	8	21	12

- (1) Se han incluido los de Caminos, Canales y Puertos, aún cuando en el extranjero la especialidad civil puede tener otras connotaciones.
- (2) Incluye los electromecánicos, aeronáuticos y de petróleo con énfasis en la petrolquímica.
- (3) Incluye los ingenieros geólogos
- (4) Incluye a los ingenieros agrónomos, agrimensores y de montes.
- (5) Ingenieros hidráulicos, geógrafos, aeronáuticos y arquitectos.

Todo ello da lugar a una extensión en el tiempo y a una mayor profundidad e intensidad en los cursos, hasta el punto de que se llegan a romper las costuras que inicialmente limitaban su contenido y desarrollo. Eso obliga cada vez más a una especialización, seleccionando unos temas con respecto a otros. Por otro lado es una tónica general el deseo por parte de los que reciben los cursos de que las exposiciones teóricas se reduzcan, dando paso a más aplicaciones y a la exposición y discusión de casos reales tipo, adaptados a las peculiares circunstancias de los concurrentes.

Para la discusión se toma como modelo al Curso Internacional de Hidrología Subterránea, de Barcelona. El conjunto de temas desarrollados se resume en los cuatro grandes grupos indicados en la tabla 2. Se aprecia claramente un progresivo aumento de la carga docente en aula que va paralela con el del número de clases de campo, visitas y ejercicios, con controles de rendimiento y realización de un estudio. Todo ello se ha realizado sin prolongar la duración total hasta el momento en que ha sido necesario plantearse una prolongación para empezar a separar la parte docente de lo que es la realización de un trabajo práctico real, que sea la síntesis de lo aprendido en el Curso.

Dentro de esa evolución, el campo se ha ido centrando cada vez más en el tema del desarrollo, utilización y conservación de los recursos de agua subterránea, abandonando progresivamente temas específicamente relacionados con el drenaje de obras civiles y agrícolas, de minería, etc., e incluso de perforación.

A pesar de ello, la cantidad y complejidad de la materia a asimilar hace prever que el Curso tendrá que escindirse en temas más restringidos, quizás partiendo de una base común, para luego seleccionar ramas específicas, que podrían ser :

- Hidráulica subterránea
- Hidrogeoquímica, calidad y trazados naturales y ambientales
- Planificación de recursos de agua subterránea
- Exploración
- Exploración y captación

Detallando los diferentes temas, la evolución ha sido tal como se expone a continuación.

**TABLA 2 - EVOLUCION DEL CONTENIDO EN CLASES DE AULA DE LOS GRUPOS DE TEMAS DEL CURSO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA DE BARCELONA**

Grupos de temas	nº horas en aula (teoría + explicación)					
	1967	1972	1977	1979	1980	Futuro
Disciplinas auxiliares	35	20	32	33	33	30
Hidrología Superficial	20	10	16	16	14	20
Hidrología Subterránea	40	55	55	59	57	60
Exploración	20	35	41	47	52	60
Captación y explotación	45	40	21	26	28	30
Planificación	0	10	11	13	13	13
Casos reales	0	15	15	23	26	30
<b>Total .....</b>	<b>160</b>	<b>185</b>	<b>191</b>	<b>217</b>	<b>223</b>	<b>245</b>

**I - DISCIPLINAS AUXILIARES**

I.1. - Elementos de Geología. Solo para participantes con insuficiente formación en geología. Evolución hacia mayor exposición de ejemplos que visualicen las diferentes situaciones de interés hidrogeológico.

I.2. - Elementos de Mecánica de Fluidos. Caracter puramente introductorio que probablemente deberá desmembrarse en temas básicos y temas aplicados, los cuales se deberán trasladar a los de captación e hidráulica subterránea.

I.3. - Fundamentos de cálculo y nociones de Estadística Aplicada a la Hidrología. Parte de cálculo solo para participantes con insuficiente formación en matemáticas, aunque cada vez el nivel inicial es mayor, y podría suprimirse en el futuro. La parte Estadística debe enfocarse cada vez más a temas de correlación y análisis multivariantes con ejemplos concretos. Parece conveniente introducir más elementos de cálculo matricial, de resolución numérica de ecuaciones diferenciales y de manejo de minicomputadores.

I.4. - Elementos de química del agua. Se debe llegar a un manejo cada vez mayor de cálculos de equilibrio y cinética química, utilizando la creciente información sobre constantes de reacción, y debe dedicarse una especial atención a programas de cálculo con minicomputador.

## II - HIDROLOGIA DE SUPERFICIE

- II.1.-Componentes primarios del ciclo hidrológico. Manejo cada vez más generalizado de programas de cálculo con minicomputador y mayor uso de análisis de sensibilidad.
- II.2.-Elementos de hidrología de superficie. Se debe separar lo que son aforos y manejo de datos, de lo que es regulación, que debería pasar a temas de planificación.

## III - HIDROLOGIA SUBTERRANEA

- III.1.-Teoría del flujo del agua subterránea. Evolución hacia mayor énfasis en cuanto a planteamiento de las ecuaciones de base, introduciendo conceptos de transferencia de masa, en vez de introducirlas al tratar cuestiones de trazadores y de calidad. Creciente importancia del flujo del agua en el medio no saturado y polifásico.
- III.2.-Hidráulica de captaciones de agua. Complejidad en recesión. Parece mejor dedicar tiempo a la exposición de los fundamentos clásicos, para luego identificar las perturbaciones y modificaciones de situaciones más complejas a base de ejemplos reales, dejando para un estudio posterior un análisis más detallado.
- III.3.-Modelos analógicos y matemáticos. Evolución rápidamente creciente, con introducción continuada de nuevas técnicas. Eliminación de aspectos matemáticos para poner énfasis en la obtención de datos, en programación, en la interpretación de los resultados y en su credibilidad.

## IV - EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

- IV. 1.-Prospección geofísica aplicada. Solo es posible dar los fundamentos y se evoluciona hacia la comprensión de su utilidad, limitaciones y oportunidad. Dejando al margen los detalles interpretativos, que son el objeto del geofísico. Separación entre técnicas de reconocimiento regional y las de reconocimiento local. Progresivo mayor énfasis en técnicas de testificación, en especial las nucleares.
- IV 2.- Geohidroquímicas. Importancia y desarrollo crecientes, que requieren un tratamiento especial. Parece que los conceptos básicos son difíciles de asimilar y que requiere dedicar más tiempo y, a falta de una clara sistemática, ilustrar las diferentes posibilidades mediante ejemplos seleccionados y mediante la ejecución de ejercicios guiados.
- IV 3.- Métodos de explotación. La importancia y profundidad ha ido creciendo paulatina -

mente. Se han tenido que ir profundizando cada vez más los aspectos genéticos que condicionan la geometría y parámetros hidráulicos de las formaciones hidrogeológicas. Se aprecia que se requiere recurrir a ejemplos reales de un amplio espectro, con un cierto énfasis en zonas áridas y aluviales. En el futuro conviene separar lo que es discusión de los diferentes tipos de formaciones de lo que es organización de estudios, programación y redacción de informes, lo cual debería pasar a ser un tema nuevo situado en una fase tardía del curso.

IV 4.- Relaciones entre las aguas superficiales y las subterráneas. Es un tema de contenido y encaje aún poco definido, dadas las múltiples conexiones con otros temas de hidrología superficial y de hidráulica subterránea. Parece conveniente que se desarrolle hacia una fase tardía del curso, a modo de resumen y compendio, dando especial énfasis a los temas de estudio de la componente subterránea del hidrograma y a las cuestiones de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, con ejemplos cuantitativos.

IV 5.- Relaciones agua dulce-agua salada en regiones costeras. Tema que en general es de dificultosa comprensión, lo que ha requerido ir aumentando el tiempo de exposición de los conceptos básicos y de resolución de aspectos cuantitativos conceptuales. Se aprecia la necesidad de introducir ejemplos reales seleccionados de amplio espectro. Parece que la eficacia de exposición aumenta si el tema es trasladado a una fase tardía del curso.

IV 6.- Trazadores y técnicas nucleares en Hidrología Subterránea. Importancia rápidamente creciente al establecerse las bases prácticas de aplicación y generalizarse los laboratorios capaces de efectuar las determinaciones necesarias. Las bases sobre dispersión deberían exponerse principalmente como teoría del flujo en medios porosos, dejando para este tema solo aspectos aplicados. Entre los de trazado artificial solo debe ponerse énfasis en los de utilización inmediata tales como los de transmisión de trazador entre un sondeo y un pozo en bombeo y los de dilución y movimiento de un trazador radioactivo en un pozo (técnicas de pozo único). Los aspectos de trazadores isotópicos ambientales deben reforzarse con la exposición de ejemplos reales, pues de otro modo la comprensión se hace difícil. De cara al futuro deberá darse más importancia a los aspectos térmicos.

## V - MÉTODOS DE CAPTACION Y EXPLOTACION

V. 1- Construcción de captaciones de aguas subterráneas. Evolución hacia proyecto de captaciones con preferencia a los detalles de los métodos de construcción. Ciertos detalles de los métodos de construcción deben dejarse para ser comentados des

pués durante las visitas a obras de construcción de pozos y sondeos. Es importante dar un énfasis creciente a la preparación de especificaciones técnicas y a la de elaboración de informes finales que incluyan la evaluación de ensayos durante y después de la construcción.

V.2. - Recarga artificial de embalses subterráneos. El rápido desarrollo del tema durante los últimos años hace difícil poder efectuar una breve síntesis, de modo que se evoluciona hacia la introducción de principios básicos generales sobre la filtración, reacciones en el terreno e influencia del tipo de obra y secuencia de recarga, dejando los detalles de las diferentes realizaciones a la presentación breve de algunos ejemplos seleccionados. Dado que la recarga artificial va a jugar un papel rápidamente creciente en la gestión de recursos de agua, este tema deberá ampliarse en el futuro.

V.3. - Calidad del agua subterránea. Los aspectos de criterios de calidad y de corrección de la calidad del agua pueden quedar reducidos a una simple información, lo mismo que los aspectos de inyección profunda de aguas residuales, mientras que los aspectos concretos de calidad del agua subterránea, su origen y su modificación actuando sobre el flujo en el propio terreno, deben tener un énfasis creciente. Dado que los problemas de contaminación del agua subterránea son ya frecuentes y que serán aún más frecuentes en un futuro inmediato, es preciso dedicar un énfasis mayor al estudio de los mecanismos de autodepuración, de retraso en el movimiento de contaminantes, de movimiento de los contaminantes y de dilución por mezcla, así como a los de vigilancia y protección.

## VI - PLANIFICACION HIDRAULICA Y DE AGUAS SUBTERRANEAS

VI .1.-Hidroeconomía y planificación de recursos hidráulicos. Los temas de hidroeconomía a nivel de explotación individualizada parece que es mejor tratarlos a nivel de resolución de unos pocos ejemplos seleccionados, facilitando datos y tables para resolver otros casos. Los temas de carácter regional y los de planificación parece que solo pueden abordarse a título informativo, con la ayuda de algunos ejemplos seleccionados.

VI .2.-Legislación. Es un tema de difícil enfoque para no particularizar situaciones solo de interés local. No parece que se deba pasar en el futuro de una simple información.

VI .3.-Otros recursos hidráulicos. A nivel informativo parece interesante mantener la discusión de las características, desarrollo y posibilidades de la desaliniza -

ción de agua del mar y aguas salobres naturales, de la lluvia artificial y de la reutilización de aguas residuales, con un fin solo de tener una visión de conjunto del espectro de posibilidades.

## VII - CASOS REALES Y MESAS REDONDAS

VII.1.-Instrumentación. Es un tema poco definido, introducido recientemente para informar sobre la instrumentación hidrométrica dedicada a aguas subterráneas, en especial en lo referente a precisión, prestaciones, asequibilidad, etc., aunque parece que se puede substituir por documentación apropiada. Aún se tiene poca experiencia sobre su valor.

VII.2.-Casos reales. La exposición de casos reales es claramente solicitada por los participantes. No queda definido si en la realidad se obtiene todo el provecho deseado de la exposición detallada de casos bien estudiados. Parece que lo mejor es incorporar casos reales a modo de ejemplo breve en los temas que lo necesitan y dejar solo 2 ó 3 casos para su desarrollo en extenso, y es posible que estos 2 ó 3 casos sean suprimidos en el futuro. Probablemente sea de mayor utilidad en el futuro la discusión abierta y en común de los trabajos prácticos reales que cada grupo de dos participantes debe realizar cuidando de que el espectro de esos trabajos sea suficientemente amplio y de que su contenido esté bien definido.

## 5.- FORMACION FUTURA A NIVEL DE TITULACION

La amplia gama de materias y aspectos del agua subterránea, que requiere una pluridisciplinaridad a la que ya se ha aludido, dificulta el establecimiento de un título universitario o de Escuela Superior que ampara todos los conocimientos necesarios en un profesional de la Hidrología Subterránea, y parece que un tal título podría ser un serio freno al desarrollo, al restar agilidad de diversificación en temas laterales.

Una posible solución puede ser la de instrumentar un centro de formación a nivel de tercer ciclo, abierto a titulados de segundo ciclo de facultades o escuelas clásicas. En principio parecen suficientes dos años de docencia, con el núcleo fundamental en temas de Hidrología Subterránea, pero conservando alguna asignatura o algunos créditos en relación con la formación base, que sirviese para complementar la formación en Hidrología Subterránea mediante el estudio de materias conexas de la propia especialidad. Así, dicho centro sería un centro interfacultades o interesuelas.

Otra posible solución, quizás no tan eficaz, pero también útil, sería la de establecer un centro de formación en Hidrología Subterránea desde el inicio de los estudios univer-

sitarios, pero que solo utilizase de 1/3 a 1/2 de las asignaturas o créditos necesarios para la titulación, debiendo tomar el resto en una Facultad o Escuela clásica definida. Esto exige la creación de una nueva titulación y tener flexibilidad suficiente como para admitir múltiples matices en dicha titulación.

La primera solución es más acorde con la experiencia existente en los Cursos de Postgraduados, experiencia que se ha mostrado como muy positiva y que además admite la incorporación de otros titulados sin necesidad de adaptaciones complicadas o molestas.

#### 6.- PROGRAMA DE RECICLADO

En estos momentos puede decirse que ya se ha dado el primer gran paso en la formación de expertos de Hidrología Subterránea. El segundo paso es el de facilitar la puesta al día de esos expertos en las materias rápidamente en evolución o en aquellas en que no han desarrollado experiencia profesional a causa de sus concretas circunstancias de trabajo.

Esto solo parece que se puede conseguir mediante cursos de reciclado, los cuales deberían reunir las siguientes circunstancias:

- a) Ser de tema concreto.
- b) Ser de duración breve, de 1 ó 2 semanas intensivas.
- c) Conseguir una total colaboración de todos los asistentes en su desarrollo y estructuración.
- d) Tener una amplia base de exposición y comentario de experiencias reales.
- e) Dar cabida a que cada participante pueda exponer un caso propio y discutirlo con amplitud.

Estos programas deben concentrarse en ciertas épocas del año, 2-4 programas en cada periodo, a fin de que los participantes que provienen de lugares alejados puedan acudir a más de uno, si así lo desean.

#### 7.- PROGRAMAS DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS

Los programas de transferencia de conocimientos, con exclusiva referencia a los niveles superiores, son los más difíciles, pero son necesarios para que las nuevas técnicas y métodos puedan ser llevados a la práctica. Estos programas son los destinados a gerentes,

administradores, autoridades, personal político y dirigentes en general, y aunque destinados personas con intereses y formaciones muy heterogéneas, no solo son necesarios en el futuro, sino que las experiencias existentes son muy positivas. Tales programas deberían considerar:

- a) Reunir asistentes o bien homogéneos o bien de un amplio espectro, sin predominio de tendencia.
- b) Evitar el desarrollo de cuestiones técnicas y científicas, presentando solo los resultados de las mismas mediante la resolución de problemas, mejora de la gestión, disminución de conflictos, etc.
- c) Participación de los asistentes en la exposición de temas de su interés y de su discusión general.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Albertson, M.L. (1969) - International co-operation in hydrologic education. Proc. First Int. Seminar for Hydrology Professors. Urbana, Vol. III, págs. 938-953.
- (2) Anon. (1978) - Universities offering ground-water courses. Ground Water. Mayo-Junio, 1978, págs. 221.
- (3) Anon. (1978) - Ground-water college courses. The Well Log. Vol. 9, nº 3 y 5, pág. 1 y pág. 8.
- (4) Burger, A.R. (1975) - Groundwater and the third world : a collective critique of existing aid programmes. Geological Survey of Canada. Paper 74-75. Ottawa. 32 págs.
- (5) Burdon, D.J. (1977) - The role of the hydrogeologist. Memories Int. Assoc. Hydrogeologist. Vol. XIII-2. Birmingham Congress. págs. 89-104.
- (6) Custodio, E. (1977) - Las aguas subterráneas en España. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua. Mar del Plata. Argentina. Revista de Obras Públicas. Abril 1977.
- (6 bis) Custodio, E. (1976) - Pluridisciplinaridad de los estudios, tecnología y profesión del agua subterránea. Actas del Simposio Nacional de Hidrogeología, Valencia. Grupo de Trabajo de Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, págs. 871-885.

- (7) Custodio, E., Llamas, M.R. (Ed) (1976) - Hidrología Subterránea. Ed. Omega. Barcelona, 2396 págs. 2 vols.
- (8) Custodio, E., Martín Arnáiz, M. (1975) A six months postgraduate course on groundwater hydrology; experiences at Barcelona's International Course on Groundwater. Proc. Int. Seminar on Water Resources Education. París-Strasbourg. UNESCO-IWRA, págs. 427-447.
- (9) Custodio, E., Llamas, M.R., Sahuquillo, A. (1979) - Groundwater policy in Spain. III Congreso Mundial sobre Aprovechamientos Hidráulicos. Mexico D.F. 1979. IAWQ. 10 págs.
- (10) Ferris, J.G. (1977) - In-service training and education in groundwater hydrology in the USA. Mémoires Int. Assoc. Hydrogeologists. Vol. XIII-2. Birmingham Congress, págs. 64-67.
- (11) Llamas, M.R. (1971) - La enseñanza de la hidrogeología en España a nivel universitario y postuniversitario. Actas del I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Madrid. Sec. IX. págs. 11-23.
- (12) Llamas, M. R. (1978) - Hacia una política hidráulica sin hidroesquizofrenia. Boletín Geológico y Minero nº-86-1, págs. 93-98.
- (13) Llamas, M.R. (1975 b) - Non-economic motivations in ground water use: Hydroeschizophrenia. Ground Water. Vol 13, nº-3. págs. 23-28.
- (14) Llamas, M.R. (1976) - Concepto de hidrogeología. Capítulo 5.1 de Hidrología Subterránea. Vol. 1. Ed. E. Custodio y M.R. Llamas. Ediciones Omega, Barcelona, págs. 240-250.
- (15) Llamas M.R. (1977) - Teaching methods in hydrological education in Spain. Mémoires Int. Assoc. Hydrogeologists. Vol. XIII-2, Birmingham Congress, págs. 68-77.
- (16) Ortolano, L. (1975) - An educational program for future water resources planners. Proc. Int. Seminar on Water Resources Education. París-Strasbourg. UNESCO-IWRA, págs. 58-74.
- (17) Underhill, H.W., Thomas, R.G., Salomons, D. (1972) - The role of FAO in the transfer of water resources knowledge to developing regions. First Int. Conf. on Transfer of Water Resources Knowledge, Fort Collins, Colorado.

- (18) UNESCO (1972 a) - Teaching aids in hydrology. Technical Papers in Hydrology nº 11. París 64 págs.
- (19) UNESCO (1972 b) - Equipment for training in hydrology : a provisional list. UNESCO, París. SC/WS/ 4 32 (distribución limitada) 42 págs.
- (20) UNESCO (1974 a) - Internacional courses, fellowships and scholarships in hydrology: a provisional list. UNESCO. París. SC/WS/434 Rev. 4ª edición (distribución limitada) 41 págs.
- (21) UNESCO (1974 b) - The progress in hydrological education since the inception of the International Hydrological Decade. UNESCO. Paris SC/WS/581. (distribución limitada) 43 págs.
- (22) UNESCO (1974 c) - Textbooks in hydrology. Vol. I y II Technical Papers in Hydrology nº 6 1/6 II. UNESCO, París, 110 págs. y 223 págs.
- (23) UNESCO (1975) - La enseñanza de la hidrología. Contribuciones Técnicas sobre Hidrología, nº 13. UNESCO. París, 36 págs.
- (24) USNCIHD (1976) - Education in hydrology and water resources in the United States, 1965-1974: an overview with recommendations. Final report, Work Group of the U.S. National Committee for the Int. Hydrological Decade. Washington D.C.
- (25) Virgili, C. (1975) - Los cursos de hidrología e hidrogeología en el contexto de la enseñanza superior. Agua nº 90 págs. 22-28.