

**La utilización de zonas experimentales para la adquisición de competencias y habilidades en el estudio de los recursos hídricos**

JOSÉ MARÍA CARMONA PÉREZ

Professor titular del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Facultat de Geologia (Universitat de Barcelona)

DIANA PUIGSERVER CUERDA

Investigadora Postdoctoral de formació en docència i recerca (UB) del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Facultat de Geologia (Universitat de Barcelona)

**Introducción**

La docencia universitaria en el campo de la Hidrogeología, debe ser de carácter científico-técnico y transversal. De esta forma, el modelo docente centrado en los procesos de enseñanza-aprendizaje propugnados por el nuevo Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES) ha de suponer el marco propicio que aproxime la docencia universitaria a los ciudadanos y a la sociedad en general.

El desarrollo de actividades de enseñanza-aprendizaje en zonas experimentales en las cuales se llevan a cabo proyectos de investigación por parte del profesorado universitario, permite a los docentes en Hidrogeología acercar a los alumnos al desarrollo de la actividad profesional dentro de este campo.

Por otro lado, el análisis comparativo de los datos obtenidos en una zona experimental, tanto a nivel de las actividades realizadas por los alumnos como de los resultados de las investigaciones, permite al alumno adquirir las competencias básicas

que se exigen al hidrogeólogo. Paralelamente, este tipo de análisis comparativo también permite a los alumnos familiarizarse con la importancia de incorporar la investigación en el trabajo cotidiano de un profesional para mejorar el conocimiento de la realidad observada, aun cuando ello implique cambiar la orientación de los estudios que habitualmente se vienen realizando en el campo de la Hidrogeología convencional.

La utilización como Aula de Hidrogeología de una zona experimental en la cual se desarrollan diferentes proyectos de investigación favorece el logro eficaz de las citadas competencias. En ese contexto el docente de Hidrogeología debe crear y revisar las condiciones que favorecen el aprendizaje y la formación de los estudiantes, y al mismo tiempo debe transmitir una ética profesional para favorecer una aproximación reflexiva y crítica que permita al alumno desarrollar un compromiso con la sociedad.

La Directiva Marco del Agua, directiva 2000/60/CE (DMA) del Parlamento Europeo y Consejo (2000), reconoce que el agua no es un bien comercial como otro cualquiera, sino que es un patrimonio que hace falta proteger y defender. La DMA estimula la reflexión y el debate, y obliga, entre otras cosas, al replanteamiento de aspectos metodológicos en el estudio y análisis de los problemas asociados a las aguas subterráneas (Carmona, 2004).

En la DMA se observa que, entre los elementos que necesariamente se deben tener en cuenta en la elaboración de las políticas de gestión de las aguas subterráneas, figuran los datos científicos y técnicos disponibles. Para efectuar el seguimiento de su estado cuantitativo y cualitativo, la DMA fija las directrices que se deben seguir, y que consisten en el diseño de redes de control de niveles de agua y de parámetros físicos e hidroquímicos con una densidad y frecuencia de medida suficientes como para apreciar las variaciones a corto y largo plazo.

La Hidrogeología, como ciencia que se dedica al estudio de las aguas subterráneas, es una ciencia que mantiene nexos de unión con otras ciencias con las que se relaciona o que le son afines, de aquí su carácter multi e interdisciplinario. Aunque implica métodos reduccionistas, principalmente requiere aproximaciones holísticas que

implican una preparación para el trabajo de campo integrado y una gama de valores espaciales y temporales, en los cuales los estudiantes usan sus capacidades de observación, análisis e imaginación para tomar decisiones en problemas con numerosas incertidumbres. El aprendizaje de esta ciencia debe seguir un método holístico, multi e interdisciplinario en el cual la mayor parte del aprendizaje debe basarse en la integración de estudios de campo e investigaciones teóricas y experimentales mediante el uso de métodos cuantitativos y cualitativos para la adquisición e interpretación de datos.

Para ello es necesario que los estudiantes de Hidrogeología sean competentes en el dominio de las tecnologías, infraestructuras y metodologías características de la profesión hidrogeológica y que hayan logrado con suficiencia las competencias teóricas y prácticas propias de esta profesión.

En este sentido el *Libro Blanco de Geología* (Conferencia de decanos de Geología, 2004), sobre cómo se deberán plantear las enseñanzas de Geología adaptadas al nuevo Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES), hace especial hincapié en el valor de las enseñanzas prácticas. Por este motivo, es esencial para los estudiantes de Grado y Master que quieran seguir estas vías profesionales, desarrollar destrezas prácticas y de investigación relacionadas con el trabajo de campo, como por ejemplo recoger, almacenar y analizar datos utilizando técnicas adecuadas de campo y valorar los problemas de selección de muestras durante la recogida (exactitud, precisión e incertidumbre). Estas prácticas desarrollan también la capacidad de integrar evidencias de campo y laboratorio con la teoría, siguiendo una secuencia que va de la observación y reconocimiento, a la síntesis y modelización.

Las prácticas de campo permiten además que los estudiantes desarrollen destrezas clave útiles para el aprendizaje permanente y que son bien valoradas por la sociedad (comunicar ideas e información y proporcionar soluciones a problemas, trabajo en equipo, autogestión, relaciones interpersonales, etc).

Teniendo en cuenta la importancia que tiene en el aprendizaje de la Hidrogeología y ciencias vinculadas la participación del estudiante en el trabajo hidrogeológico real, y la importancia que en éste tiene el trabajo de campo, los criterios e indicadores de evaluación más relevantes han de poner de manifiesto la cantidad y la calidad de estos

trabajos, lo que supone que se debe permitir al estudiante el acceso a prácticas dotadas del instrumental e infraestructura características del trabajo hidrogeológico real.

Los principales objetivos de la utilización de una zona experimental como un Aula de Hidrogeología son los recogidos en los planes docentes de las asignaturas de Grado y Master en las cuales se imparte Hidrología e Hidrogeología. Entre estos objetivos destacan:

Los referidos a conocimientos:

- Comprender la necesidad que hay de medir y evaluar los componentes del Ciclo Hidrológico.
- Entender la importancia de conocer el nivel piezométrico en un punto y en un momento dado y su importancia con respecto a la gestión de los recursos hídricos.
- Adquirir los conocimientos sobre el suelo y su funcionamiento en caso de contaminación, considerando las interacciones con los otros compartimentos ambientales.
- Identificar los factores y los procesos más importantes en la valoración de la gravedad de los problemas de contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Conocer los procedimientos habituales de evaluación de la pérdida de calidad de los suelos.
- Conocer las herramientas que permiten monitorizar un emplazamiento y un almacén de residuos para prevenir un posible impacto en el territorio.
- Conocer las herramientas que permiten caracterizar un emplazamiento contaminado y definir el modelo conceptual de funcionamiento del sistema.

Los referidos a habilidades:

- Familiarización en el uso de instrumental técnico de campo y de laboratorio.
- Saber diseñar redes de monitorización de emplazamientos y almacenes de residuos

para caracterizar o prevenir posibles impactos sobre el medio.

- Saber diseñar redes de monitorización de episodios de contaminación para caracterizarlos y para establecer estrategias de remediación.
- Saber diseñar campañas de toma de datos y de muestras para caracterizar el medio.
- Saber interpretar de manera correcta todo tipo de observaciones realizadas en el campo.
- Saber analizar de manera crítica los datos e informes preexistentes.
- Saber sintetizar dentro de un modelo conceptual integral de flujo y el transporte del conjunto de datos y estudios de qué se dispone.

Los referidos a actitudes, valores y normas:

- Interés por el desarrollo de la actividad profesional relacionada con la Hidrogeología.
- Sensibilización con las problemáticas medioambientales y desarrollo de actitudes sostenibles en el proceso de evaluación de la calidad de los suelos y aguas subterráneas.
- Espíritu innovador y creativo para contribuir al incremento del conocimiento.
- Tener capacidad para dirigir un grupo de trabajo.
- Participación responsable en la realización de tareas de grupo.
- Tener capacidad por establecer relaciones interdisciplinarias.
- Incremento de las habilidades sociales para conseguir buenas relaciones profesionales con los diferentes agentes sociales implicados en las problemáticas medioambientales.

La zona experimental donde se han llevado a cabo diferentes actividades de enseñanza-aprendizaje desde el curso 2008-2009 es una zona donde en 2001 la Agencia Catalana del Agua (ACA) inició los estudios de caracterización y monitorización de un episodio de contaminación de aguas y donde desde el año 2005, el grupo de

Hidrogeología del Grupo de Investigación Consolidado Geología Económica, Ambiental e Hidrología de la Universidad de Barcelona, ha desarrollado los proyectos de investigación de “Integración de técnicas de caracterización de episodios de contaminación de suelos y aguas subterráneas por DNAPL para la definición de propuestas de rehabilitación de acuíferos” (CTM2005-07824/TECNO) y “Remediación de suelos y aguas subterráneas contaminados por DNAPL bajo niveles de fondo que dificultan su degradación” (CGL2008-02164/BTE).

En la zona experimental, donde se ha puesto en práctica el Aula de Hidrogeología, se pretende utilizar la infraestructura existente y los estudios realizados, tanto por parte de la Administración como por parte del equipo de investigación con el fin de que los estudiantes puedan llevar a cabo una diagnosis del estado cuantitativo y cualitativo de los recursos hídricos subterráneos. Se trata de que el alumno se familiarice con las herramientas de campo para el reconocimiento y caracterización de acuíferos para la resolución de problemas hidrogeológicos, como por ejemplo evaluación de recursos y reservas, evaluación del estado cualitativo de las aguas subterráneas, diseño de redes de monitorización y control de la contaminación y de las estrategias de remediación implementadas tanto en la zona no saturada como en la saturada.

### **Metodología**

Desde el punto de vista metodológico, la utilización de zonas experimentales como aulas de Hidrogeología implica la necesidad, en un primer estadio, de llevar a cabo por parte del equipo docente investigaciones encaminadas a caracterizar y experimentar a nivel de campo y laboratorio en la zona de estudio. Esto proporciona a los docentes las herramientas de trabajo necesarias para el diseño de actividades de enseñanza-aprendizaje que pueden ser incorporadas en la docencia universitaria.

Durante el proceso de planificación y elaboración de estas actividades se han planteado los objetivos encaminados a la consecución por parte de los alumnos de las competencias que ha de alcanzar, y entre las que destacan:

- Competencia en la elaboración de modelos conceptuales de flujo y transporte. Esta competencia es la base de todo profesional de la Hidrogeología, y debe desarrollarse

para poder lograr los objetivos de aprendizaje de las asignaturas.

- Competencia en el desarrollo de tareas de planificación y gestión de los recursos hídricos.
- Competencia en la identificación, interpretación, evaluación y extracción de los recursos y las reservas hídricas, teniendo en cuenta los aspectos cuantitativos y los cualitativos.
- Competencia en el diseño y ejecución de estudios para analizar, interpretar y evaluar episodios de contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Competencia en el desarrollo de tareas de monitorización, análisis, interpretación y evaluación de la calidad de las aguas.
- Competencia para analizar, interpretar y evaluar los casos prácticos de episodios de contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Competencia en la elección de los métodos de remediación más adecuados de suelos y acuíferos contaminados.

Las actividades de enseñanza-aprendizaje propuestas deben desarrollarse a nivel de campo (en la zona experimental), de laboratorio (instalado en las proximidades de la zona experimental) y de gabinete. Para facilitar la consecución de estas actividades de una forma eficaz, se ha optado por realizarlas a lo largo de varios días seguidos, lo que conlleva la necesidad de pernoctar en la zona de estudio. Se trata de que el alumno pueda reproducir las diferentes tareas necesarias para realizar una diagnosis sobre el medio y que ésta la plasme en forma de informe técnico.

Hay que señalar que la ejecución de este tipo de actividades de carácter eminentemente práctico representa un elevado coste económico tanto desde el punto de vista del material fungible e inventariable requerido como del personal que ha de trabajar a nivel de grupos pequeños de estudiantes. Este hecho, es relevante en el contexto de recortes presupuestarios que estamos sufriendo y que limitan en gran medida la consecución de resultados satisfactorios.

La ejecución y evaluación de las actividades de enseñanza-aprendizaje se realiza a nivel de equipos de trabajo mediante la elaboración de un informe-memoria proporcionado

a los estudiantes al inicio de la estancia en la zona experimental. Con la finalidad de poner en común las observaciones realizadas por cada uno de los grupos de trabajo, se realiza una presentación en público una vez entregado el informe y se favorece la interacción entre los diferentes grupos y el equipo docente.

A nivel procedimental, al inicio de cada jornada se plantean las actividades a desarrollar haciendo especial énfasis en las competencias, habilidades y actitudes que se pretenden trabajar por parte de los alumnos. Además, se explica el funcionamiento del material a utilizar, la base teórica de los ensayos a llevar a cabo, los protocolos de actuación necesarios y los resultados esperables. Cada actividad se encuentra controlada por un profesor y los grupos de alumnos van rotando, de forma que al final de la jornada cada equipo ha podido realizar el conjunto de actividades y dispone de datos para ser interpretados en gabinete.

Por último, una vez obtenidos los resultados e interpretados por parte del alumnado, al final de cada jornada se lleva a cabo un ejercicio de síntesis de la información obtenida.

Una vez evaluados los resultados obtenidos por parte del profesorado, éste se replantea la mejora de las actividades a realizar para introducir los cambios necesarios cuando se vuelvan a realizar las actividades, lo que significa que el Aula de Hidrogeología es una herramienta dinámica de aprendizaje.

Para evaluar el impacto de la utilización del Aula de Hidrogeología como herramienta de aprendizaje, en términos de mejora en la consecución de las competencias de la asignatura por parte de los alumnos, se ha llevado a cabo un análisis comparativo. Así, se han analizado las diferentes actividades de enseñanza-aprendizaje llevadas a cabo a lo largo de los últimos cinco años en las diferentes licenciaturas en donde se ha venido impartiendo Hidrogeología y se han identificado los aspectos positivos y los necesariamente mejorables. De hecho, la evaluación continua de los resultados obtenidos en estas actividades es lo que ha dado como resultado el planteamiento de la zona experimental como una herramienta básica para implementar el EEES en esta disciplina.

## **Resultados y conclusiones**

El enfoque metodológico de la enseñanza propiciada por el EEES empezó introducirse en la licenciatura de Geología de la Universidad de Barcelona durante el curso 2003-2004. Esto implicaba incrementar las actividades de carácter práctico frente a las de carácter teórico, lo que impulsó al equipo docente a organizar una salida de campo para estudiar la problemática de la gestión de los recursos hídricos de una zona de Catalunya con importantes problemas de sobreexplotación de sus recursos hídricos (Acuífero Carme-Capellades).

Los principales objetivos de esta salida de campo era que los alumnos trabajaran las competencias específicas de la asignatura referidas a identificación y caracterización de los sistemas hidrogeológicos, identificación, interpretación, evaluación y extracción de los recursos y las reservas hídricas, teniendo en cuenta tanto los aspectos cuantitativos como los cualitativos, el desarrollo de tareas de planificación y gestión de los recursos hídricos y la competencia relacionada con la elaboración de modelos conceptuales de flujo y transporte.

La salida consistía en un itinerario a través del cual los alumnos se familiarizaban con las principales unidades hidrogeológicas tanto desde el punto de vista de las litologías que las caracterizaban como de la importancia que la estructura tectónica tenía en el modelo de flujo. Este tipo de análisis permitía a los alumnos de geología aplicar sus conocimientos previos de geología a la hidrogeología. La realización de medidas *in situ* de parámetros físico-químicos, combinada con la presentación de resultados hidrodinámicos e hidroquímicos previos permitía al alumno entender las problemáticas derivadas de la sobreexplotación de acuíferos. El análisis de los resultados académicos derivados de la introducción de la salida de campo mostró que, aunque se experimentaba una mejora, los alumnos necesitaban incrementar todavía más su experiencia práctica.

Dada la favorable percepción por parte de los alumnos de las actividades desarrolladas en el campo, se organizó en el curso 2004-2005 para la licenciatura de Ciencias Ambientales una segunda salida de campo cuya principal problemática es la contaminación de los recursos hídricos del Sistema Acuífero del Baix Francolí-Bloc del Gaià. Los principales objetivos de esta otra salida de campo eran que los alumnos

trabajaran, además de las competencias específicas anteriormente señaladas, las referidas al desarrollo de tareas de monitorización, análisis, interpretación y evaluación de la calidad de las aguas subterráneas desde el punto de vista de los usos, diagnóstico del medio, analizar, interpretar y evaluar episodios de contaminación de suelos y aguas subterráneas y competencia en la elección de los métodos de rehabilitación más adecuados de suelos y acuíferos contaminados.

Esta salida consistía en un itinerario a través del cual los alumnos se familiarizaban con los diferentes tipos de contaminación que afectan a los recursos hídricos como consecuencia de los diferentes usos del suelo y en función de la vulnerabilidad intrínseca de las diferentes formaciones hidrogeológicas que caracterizan el sistema acuífero. La integración de conceptos medioambientales y de conceptos hidrogeológicos para abordar una problemática ambiental a nivel de territorio resultó una herramienta docente altamente valorada por parte de los alumnos. La adquisición de datos por parte de éstos en las diferentes paradas realizadas a través del itinerario permitía llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad de las diferentes formaciones hidrogeológicas.

A partir de los resultados positivos obtenidos a partir de la experiencia de las salidas de campo, y siendo consciente el equipo docente de que hacía falta hacer especial hincapié en la necesidad de que los alumnos realizaran análisis integrales del medio, se planteó la necesidad de introducir actividades de enseñanza-aprendizaje en zonas experimentales.

A partir de las actividades diseñadas para llevar a cabo en la zona experimental, se ha observado que los alumnos adquieren las habilidades de familiarización con el uso de instrumental de técnico de campo y laboratorio. Además, aprenden a trabajar en grupo y se conciencian de la necesidad de disponer o de diseñar protocolos de actuación que permitan reproducir la experimentación en diferentes contextos hidrogeológicos.

Los aspectos metodológicos adquiridos son de carácter global, lo que les permite extrapolar su aplicabilidad a diferentes contextos hidrogeológicos, favoreciendo con ello la realización de análisis comparativos entre diferentes zonas de estudio.

Otro de los aspectos a destacar es que este tipo de actividades incrementa el grado de motivación del alumnado porque además de aprender pueden interrelacionarse entre sí y divertirse con el trabajo que realizan.

En la zona experimental se plantean tres grandes grupos de actividades. Los primeros se encuentran encaminados a la caracterización hidráulica del sistema. Así los ensayos propuestos combinan las medidas directas de niveles de aguas, la realización de ensayos en campo que permiten determinar los parámetros hidráulicos y de transporte de solutos del medio y el establecimiento de relaciones hidráulicas entre aguas subterráneas y aguas superficiales.

Así, en una superficie de terreno relativamente a pequeña, el alumno se concientia de la elevada heterogeneidad del medio que está estudiando y consecuentemente de su elevado grado de complejidad. Esta constatación es de vital importancia para el alumno, pues se hace da cuenta de la necesidad de realizar los estudios a nivel de campo y no a únicamente nivel bibliográfico, puesto que la realidad de una zona puede ser altamente cambiante en función del espacio y del tiempo. Hay que señalar a este respecto, que con las salidas-itinerario, al trabajar a nivel regional, a menudo la importancia de la heterogeneidad no quedaba suficientemente clara.

El otro grupo de actividades implementadas en la zona experimental son las que implican el muestreo de aguas de piezómetros, la medida *in-situ* de los parámetros físico-químicos y el análisis de las aguas mediante métodos semicuantitativos. Este tipo de actividades permite a los alumnos realizar una primera diagnosis del estado cualitativo de las aguas y de los principales procesos biogeoquímicos que tienen lugar en la zona.

Aunque los métodos analíticos utilizados no se caracterizan por dar lugar a una elevada precisión, sí que permiten al alumno obtener resultados cuantificables y, sobretodo, observar cómo evolucionan los solutos a lo largo del flujo. Además, para los alumnos el poder analizar sus propias muestras les permite relacionar las observaciones de campo con los datos obtenidos en el laboratorio. En este último caso, también hay que señalar el hecho de que la manipulación en laboratorio de sus propias muestras para obtener una información concluyente les pone de manifiesto a los alumnos la importancia de que el trabajo de laboratorio ha de realizarse de forma

rigurosa.

El último grupo de actividades planteadas son las relativas a la realización de la diagnosis en base a los datos obtenidos en campo y laboratorio, al análisis del diseño de la red de monitorización y de la vulnerabilidad del sistema y el planteamiento de las estrategias de remediación que permitan dar solución a la problemática inicialmente planteada.

Todo este tipo de actividades permite a los alumnos desarrollar la capacidad de abstracción y de integración de datos preexistentes y de los resultados obtenidos en forma de informe e incluso elaborar propuestas de descontaminación.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Carmona, J.M. (2004): Las Aguas Subterráneas en la Directiva Marco de Aguas (DMA). VII Congreso Nacional del Ministerio de Medio Ambiente. Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA).

Conferencia de decanos de Geología (2004): Libro Blanco de Geología. Diseño del Título de Grado de Geología.. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y la Acreditación.

Parlament Europeu i Consell (2000): Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Directiva Marco del Agua (DMA).