

REDES DE CONTROL EN SISTEMAS DE REGADÍO

Juan Martínez Rubio*

RESUMEN

La Directiva Marco del Agua supone una apuesta definitiva por la gestión responsable de las aguas en el marco de la Unión Europea, y su desarrollo y aplicación es un importante reto para la administración hidráulica de nuestro país, especialmente en los aspectos que hacen referencia a las aguas subterráneas. En un país como el nuestro, marcado por la circunstancia de un uso intensivo de las aguas subterráneas para los regadíos, pero con ya importantes problemas de afecciones a la disponibilidad en la cantidad y calidad del recurso, no debemos escudarnos más en el reiterado argumento de que las exigencias comunitarias de protección de la calidad son ajenas a nuestra realidad. Y para abordar este reto, la planificación hidráulica debe sustentarse sobre un análisis profundo de las unidades hidrogeológicas, pero también sobre una información suficiente y contrastada de la evolución de los parámetros que determinan sus balances. De aquí la importancia que cobran las redes de control: fononómica, meteorológica, piezométrica, de calidad, Actualmente se dispone de la tecnología adecuada, tanto en sensores como en sistemas de gestión, administración y transmisión de datos, pero es necesaria una importante inversión de recursos económicos y humanos, que Administración y administrados deben abordar solidariamente.

Palabras clave

Control hidrogeológico, Directiva Marco del Agua, redes de control.

ABSTRACT

The European Water Directive is a positive step towards the responsible management of water resources in the European Union framework. Its development and application poses an important challenge for the hydraulic administration in our country, especially in those aspects related to underwater resources. In this country, an intensive use of underwater for irrigated crops is gradually lowering its quantity and quality standards, therefore we shouldn't justify ourselves with the repeated argument that community demands for quality protection have nothing to do with us. In order to face up to this challenge, hydraulic planning must be based not only on a thorough analysis of the hydrogeological units, but also on sufficient and contrasted information about the evolution of the parameters which determine their balance. Hence the importance of control networks: meteorological, piezometrical, etc... With all the technological resources already available, both in sensors and in management, administration and data transmission systems, still there needs to be an important investment on human and economic resources: a commitment which both the Administration and the public should cooperatively undertake.

Key words

Hydrogeological monitoring; European Water Directive, control networks.

I. LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y LA AGRICULTURA

Si es un dato de dominio público el que la actividad agraria a escala global consume aproximadamente un 70% del agua manejada por el hombre, mucho menos conocidas son los porcentajes que en las distintas zonas del mundo se asignan a los regadíos con aguas de procedencia subterránea. Esto es debido a que, al margen de que desde las más primitivas civilizaciones ha existido una actividad agraria en el entorno de las surgencias y afloramientos de aguas subterráneas, e incluso de captaciones técnicamente más complejas (minas, kanats, galerías de infiltración, etc), la verdadera expansión de los regadíos con aguas subterráneas ha tenido lugar a partir de los años 50, gracias a los desarrollos tecnológicos en perforación y más aún en los sistemas de bombeo.

Sampat (2000) presenta como ejemplos los casos de dos de los países con más superficie irrigada del mundo, India y los Estados Unidos. Así, en la India se ha pasado de unos 3000 sondeos en 1960 a unos 6 millones en 1990: En un periodo similar (1950-1985) duplicó la superficie regada con aguas superficiales, y multiplicó por 113 (!) los regadíos con aguas subterráneas. En el caso de los Estados Unidos, es un dato suficientemente expresivo el de que un 43% de sus zonas regables dependen de las aguas subterráneas.

La importancia en cifras de las aguas subterráneas en los regadíos de nuestro país es un referente continuo en los documentos tanto de planificación hidrológica del MIMAM, como de planificación agraria del MAPA. Y es que del total de volumen de agua que bombeamos de nuestros acuíferos, al menos el 70% tiene como destino la agricultura de regadío. Además, recientes

publicaciones (Corominas 1999, Llamas et al 2000) han realizado estudios (centrados sobre todo en Andalucía) sobre el rendimiento económico de los regadíos con aguas subterráneas, frente a los “tradicionales” de aguas superficiales. Sus resultados, si bien no han podido ser contrastados a nivel nacional, aventuran interesantes afirmaciones como la que se cita textualmente (Llamas 2000):

“Según los datos recogidos por el PAS (Proyecto Aguas Subterráneas, Fundación Marcelino Botín) para distintas zonas de España, los regadíos con aguas subterráneas son más productivos y eficientes que los regadíos con aguas superficiales. No se dispone de datos para todo el territorio nacional, pero de los datos disponibles se puede deducir que en estos regadíos con aguas subterráneas (1 millón de hectáreas con 4 ó 5 km³/año de bombeo) se produce más riqueza y puestos de trabajo que en todos los regadíos con aguas superficiales (2,4 millones de hectáreas y 20 km³/año) derivadas de ríos y embalses. Con aproximadamente un 30% de la superficie regada, el volumen utilizado con aguas subterráneas es inferior al 20% del total...”

Con todas las matizaciones que puedan realizarse sobre afirmaciones de este tipo sí parece un hecho indudable, al menos en ciertas áreas de nuestro país, que el regante con aguas subterráneas es más eficiente que el regante con aguas superficiales. La distinta repercusión de los costes del agua, directos (energético de bombeo, amortización de obras de captación, etc) en el caso de las aguas subterráneas, frente a esquemas más tradicionales, en que el agricultor ha “heredado” una infraestructura de almacenamiento y distribución de agua, es la más obvia, que no la única, explicación de esas diferencias que, por supuesto, no son generalizables.

2. LA PROTECCION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL MARCO LEGISLATIVO

El reconocimiento de las aguas subterráneas como un recurso limitado, vulnerable y estratégico, está ahora presente en la mayoría de las legislaciones de los países de cierto desarrollo, aunque en algunos sectores ha llegado tarde. Afortunadamente se va extendiendo la conciencia de que se debe realizar una explotación de los acuíferos racional y respetuosa con el recurso y el medio ambiente.

Así por ejemplo, en el ámbito de la Unión Europea, la preocupación por las aguas subterráneas ha quedado patente por su incorporación al "5º Programa sobre política y acción en relación con el medio ambiente y el desarrollo sostenible", así como en la "Declaración de Dublín sobre el agua y el desarrollo sostenible".

Pero fue en la "Reunión Interministerial de La Haya de 1991" donde se redactó el primer documento específico sobre la problemática de las aguas subterráneas, estableciéndose las directrices básicas de los planes de actuación. En este documento quedaba de manifiesto el reconocimiento de las aguas subterráneas como un recurso natural de gran valor ecológico y económico que debía ser protegido y gestionado de modo sostenible.

Entre los acuerdos y directrices acordados destacan los siguientes:

- Establecer un programa de acción en aguas subterráneas a niveles nacional y comunitario, con el horizonte del año 2000.
- Conseguir un programa de protección y uso sostenible de este recurso.
- Evitar el progresivo deterioro de la calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos contaminados.

- Aplicar la mejor tecnología disponible y las mejores prácticas medioambientales.
- Desarrollar la participación de los usuarios en los planes gestores.

Posteriormente en nuevas resoluciones el Consejo de la U.E. exigió un programa de actuaciones en materia de aguas subterráneas (resolución del 25/02/1992), y una revisión de la Directiva 80/68/CEE relativa a la protección de las aguas subterráneas causada por determinadas sustancias peligrosas (resolución del 20/02/1996).

Avanzando sobre los objetivos marcados en La Haya, la Directiva 2000/60/CE (Parlamento europeo, 2000), se constituye como el documento de referencia en materia de política de aguas, para las próximas décadas. Sin ánimo de realizar un análisis exhaustivo de dicha Directiva, sí queremos destacar algunos de los principios básicos en torno a los que se articulan sus propuestas de acción. Así, queda claro, a lo largo de la Directiva, que existe una preocupación insistente sobre la protección de la calidad de las aguas subterráneas, tanto como recurso estratégico para el abastecimiento, como por los aspectos medioambientales.

Exige por ello a los estados miembros una profundización en el conocimiento de las características de las formaciones geológicas que constituyen los acuíferos, de la situación actual tanto de explotación como de alteración (contaminación) de sus características físico-químicas. Y del diagnóstico pasa al establecimiento de unos objetivos generales y específicos: protección especial de acuíferos ligados a abastecimiento humano, fijación de objetivos medioambientales para garantizar el buen estado de las aguas, planificación conjunta de la explotación y protección de las aguas superficiales y subterráneas, etc.

Respecto a las aguas subterráneas citamos parcialmente los Objetivos medioambientales que establece en su Artículo 4:

- Los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas, ...
- Los Estados miembros habrán de proteger, mejorar y regenerar todas las masas de aguas subterráneas y garantizar un equilibrio entre la extracción y la alimentación de dichas aguas con objeto de alcanzar un buen estado de las aguas subterráneas ...
- Los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para invertir toda tendencia significativa y sostenida al aumento de concentración de cualquier contaminante debida a las repercusiones de la actividad humana, con el fin de reducir progresivamente la contaminación de las aguas subterráneas...

La Directiva desarrolla un completo Programa de medidas que deberán adoptar los Estados miembros, cuya revisión detallada entendemos que no es objetivo de este artículo. Establece también unas líneas estratégicas para combatir la contaminación de las aguas, y específicamente para la prevención y el control de la contaminación de las aguas subterráneas (Artículo 17). Respecto a esta estrategia concreta, en los Anexos de la Directiva (DOCE 22/12/2000, pp.29-30) se establecen los criterios para:

- Caracterización inicial de todas las masas de agua subterránea para poder evaluar su utilización y la medida en que dichas aguas podrían dejar de ajustarse a los objetivos marcados en la Directiva. Básicamente implicaría la delimitación y conocimiento de las características hidrogeológicas de

los acuíferos, el análisis de las presiones a que están sometidas (fuentes de contaminación puntuales y difusas, extracciones, recarga). Adicionalmente, en los casos de que existan ecosistemas superficiales ligados a descargas de aguas subterráneas, se requerirían estudios complementarios.

- Caracterización adicional de las masas de agua subterránea en que en la primera fase se hayan detectado riesgos específicos. Implicarán estudios hidrogeológicos mucho más detallados, hasta alcanzar un conocimiento preciso de sus parámetros hidrogeológicos, balances, características hidrogeoquímicas, conexiones y relaciones con otras masas de aguas subterráneas y superficiales, etc.
- Examen de la incidencia de la actividad humana en las aguas subterráneas. con inventario de captaciones, evaluación de extracciones, control de calidad, localización y control de puntos de recarga artificial, etc
- Examen de la incidencia de los cambios en los niveles de las aguas subterráneas, y sus repercusiones en las aguas superficiales y ecosistemas terrestres asociados, la regulación hidrológica (protección contra inundaciones y drenaje de tierras), y el propio desarrollo humano.
- Examen de la incidencia de la contaminación en la calidad de las aguas subterráneas. Referidos a la identificación y caracterización de aquellas masas de agua subterránea con niveles de contaminación tan altos que resulte inviable o desproporcionadamente costosa la aplicación de las medidas generales de la Directiva.

Paralelamente a la elaboración de estos documentos, y en torno a similares principios, se han ido desarrollando en algunos de los países de la Unión Europea legislaciones y normativas específicas.

En nuestro país, destacamos la importancia que tuvo la presentación del "Libro Blanco de las Aguas Subterráneas" (1994). Este documento contemplaba el estado actual y problemática específica de los recursos hídricos subterráneos en España, y establecía el plan director de actuaciones en esta materia, distribuido en 10 programas, entre los que destaca el nº 2 Diseño y establecimiento de una red oficial de control de piezometría y calidad.

Aunque con un considerable retraso en fechas e inversiones, algunos de estos programas están en ejecución, y en cualquier caso, su filosofía y objetivos han ido madurando en documentos posteriores de planificación como el Libro Blanco del Agua en España (MIMAM, 1998), la Ley 46/99 de modificación de la Ley de Aguas (MIMAM, 1999), y el propio Proyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional (MIMAM, 2000).

3. LA IMPORTANCIA DE LA PARTICIPACION DE LOS USUARIOS

Partiendo de la aceptación generalizada de que la prevención, basada en el conocimiento del contexto hidrogeológico, en el control de la explotación y apoyada por las redes de vigilancia, es la base de la gestión racional de un recurso que es renovable pero vulnerable, nos quedaría el interrogante de quién o quienes deben responsabilizarse de esta gestión. En una idealización la respuesta sería que los propios usuarios deberían ser los responsables. La realidad es, sin embargo, que la complejidad del conocimiento de los acuíferos y sus equilibrios dinámicos hace necesaria la intervención de técnicos especialistas y gestores de la Administración que determinen las condiciones de explotabilidad de las aguas subterráneas en cada zona, vigilando su cumplimiento

e introduciendo las correcciones que sean necesarias.

Esta labor la han realizado en casi todos los países organismos oficiales de las administraciones centrales, regionales y locales. Las tendencias actuales, mucho más racionales, procuran promocionar la constitución de comunidades de usuarios para que participen activamente en los planes gestores.

Dicho de otra forma, parece evidente que el futuro próximo debe estar en un "intervencionismo activo" de la Administración en la gestión de los recursos hídricos, basado en la potenciación de programas de optimización de aprovechamiento del recurso (programas de ahorro del agua, asesoramiento en cultivos, modernización de regadíos, etc), en los que se implicarían los propios usuarios.

Llamas et al (2000) destacan el papel fundamental que debe jugar la información y educación, tanto a nivel de administradores como de administrados, en el uso sostenible de las aguas subterráneas. Como se ha indicado, la Hidrogeología es una ciencia relativamente nueva, y no forma parte de la cultura general. Solo el desconocimiento generalizado sobre la fase subterránea del ciclo del agua explica la negligencia histórica de la administración del agua, y el uso irresponsable de la misma. La aparición de afecciones, más o menos graves, que han afectado a la salud, o en general a la calidad de vida del hombre, ha dado lugar en las últimas décadas a tomar conciencia de la necesidad de proteger este recurso. Y más reciente aún es la concienciación de los valores medioambientales ligados a las descargas de las aguas subterráneas a los ríos, o la existencia de espacios naturales cuya existencia y ecología está íntimamente ligada a los acuíferos.

Es por ello esencial poner a disposición de los usuarios la información necesaria para

que se sientan partícipes y comprometidos en las decisiones de la administración responsable de la gestión de las aguas. Pero alcanzar el objetivo de poner la información al alcance del usuario no es una tarea fácil, al menos en nuestro país, por una serie de factores como es la propia dispersión de los datos (hidrológicos, hidrogeológicos, meteorológicos, etc) entre los distintos organismos de nuestras administraciones central y autonómicas. Afortunadamente poco a poco se va imponiendo el criterio de compartir información y hacerla fácilmente accesible, empleando para ello las facilidades que los medios de comunicación actuales, y en especial Internet, suponen. Así por ejemplo, destacamos las actuaciones que está actualmente desarrollando el IGME de puesta en red de cartografía geológica, bases de datos hidrogeológicos, etc, o la apuesta de muchas confederaciones hidrográficas por incluir en sus páginas web información hidrológica de interés para el usuario.

En esta misma línea está uno de los proyectos que aquí se presentan, financiado por la Dirección General de Desarrollo Rural (Ministerio de Agricultura) dentro del programa INTERREG II-C, de la RED DE INFORMACION AGROCLIMATICA. Esta red está formado por 275 estaciones repartidas en 7 CC.AA. (20 en Canarias, 87 en Andalucía, 43 en Castilla-La Mancha, 42 en Castilla y León, 18 en Murcia, 20 en Extremadura y 45 en la Comunidad Valenciana), 7 Centros Zonales (uno por cada Comunidad) y un Centro Nacional (Madrid, Subdirección General de Desarrollo Rural). Las estaciones están instaladas directamente en las principales zonas regables de dichas CC.AA., siendo sus principales características de funcionamiento las siguientes:

- **Automatización total**, tanto de la toma de datos como de la transmisión de los mismos al Centro de recogida y tratamiento.

- **Comunicación on-line**. Posibilidad de conocer en todo momento las condiciones climáticas instantáneas y el estado de la estación.
- Posibilidad de **programación remota** del data logger de la estación y por lo tanto de servicios añadidos.
- Posibilidad de **integración del servicio de SMS** (Servicio de mensajes cortos directamente a un teléfono móvil) ante eventos o alarmas.

Actualmente el sistema está ya en funcionamiento soportado por un software de diseño específico para el proyecto que “corre” en los servidores instalados en los Centros Zonales y en el Centro Nacional. A corto plazo se prevé la transferencia de las estaciones a las correspondientes CC.AA, y su puesta en red vía Internet, así como la ampliación del actualmente denominado Sistema de Asesoramiento al Regante (SIAR), al resto de las CC.AA. (Figura 1).

En cuanto a la explotación de esta Red, en la mayor parte de las CC.AA. donde ya está operativa la información se transfiere a las comunidades de regantes a través de boletines diarios, y sobre todo de las páginas web que los Servicios de Agricultura han desarrollado.



Figura 1. Página web del Sistema Inforiegos en Castilla y León

Y no se trata tan solo de los datos “brutos” proporcionados por las estaciones meteorológicas sino de una información ya traducida a recomendaciones directas al agricultor, en la línea de fomentar las “buenas prácticas agrarias”, en especial el uso eficiente del agua (Figura 2).



Figura 2. Página web del Sistema Inforriegos. Recomendaciones de riego para la zona de Nava de Arévalo

4. COMENTARIOS SOBRE LAS REDES DE CONTROL

Como sin duda se reflejará en estas Jornadas, las opiniones de los técnicos y usuarios sobre las redes automatizadas de control hidrogeológico no siempre son positivas. Y es que son muchas las malas experiencias que ya existen en nuestro país de redes abandonadas tras importantes inversiones de esfuerzo y dinero.

Al analizar las causas de “fracaso” de una red automatizada de control en muchos casos se concluye que los equipos de medida y registro son demasiado delicados para subsistir en un medio agresivo, lo que implica una continua y cara labor de reparación y reposición de equipos. Tampoco ayuda el hecho de que efectivamente los equipos son caros y sus reparaciones son costosas, y requieren en la mayoría de los casos del envío de los mismos a las empresas fabricantes, generalmente alemanas, francesas o americanas. Se diluye por ello el argumento

de la rentabilidad de los equipos automáticos, que requieren muchas menos horas-hombre que la toma manual de datos. Y se pierde también fiabilidad, al tener dudas sobre la validez de los datos y producirse interrupciones del flujo de datos cuando los equipos se averían.

Por otra parte, muchas de las redes financiadas en su día por la Administración son después abandonadas al perderse el interés sobre sus objetivos, o simplemente por la incapacidad de gestionar un presupuesto de mantenimiento.

Pero, frente a los anteriores comentarios, en mi opinión la mayoría de las “debilidades” de los equipos de las redes automatizadas de control son hoy perfectamente superables. Actualmente tenemos a nuestra disposición en el mercado, y muestra de ello es la participación en estas Jornadas, equipos de registro y medida muy robustos y fiables, con una enorme flexibilidad de programación de tareas, gran capacidad de memoria y autonomía, y preparados para el telecontrol y telegestión. También la competencia ha facilitado el ajuste de los precios, si bien el margen de maniobra de éstos es aún relativamente pequeño por el escaso volumen de ventas. Los nuevos equipos son de fácil manejo y en general requieren un mantenimiento relativamente sencillo. Además al ser en su mayoría equipos modulares se reducen los plazos de reparación, y por tanto de pérdida de datos, al ser sencilla la reposición del elemento averiado.

Donde aún queda mucha labor pendiente es en la formación sobre los aspectos de diseño de redes. Como ya se ha indicado, la definición de una red debe pasar por un análisis previo de sus objetivos, y de la adecuación de los equipos que existen en el mercado. Aquí apelo también al sentido de la responsabilidad de los distribuidores de equipos para que oferten los equipos adecuados para cada caso.

Por otra parte al diseñar las redes siempre hay que prever la futura necesidad de un mantenimiento preventivo de la misma, como garantía de la continuidad de su servicio. Los sensores necesitan de calibraciones periódicas, generalmente definidas por los fabricantes. Pero las propias instalaciones de campo deben ser también mantenidas en buen estado, reponiendo las pilas y baterías, limpiando los paneles solares, revisando la estanqueidad de los alojamientos de los data logger, etc (Figura 3).



Figura 3. Mantenimiento de equipos de la red de piezometría y calidad de aguas subterráneas

Por último es fundamental que la información que proporcione la red sea gestionada adecuadamente y que los datos se exploten para objetivos concretos. Aunque esta aseveración parezca una obviedad el declive de muchas redes nace precisamente de la incapacidad o desinterés de la Administración responsable de aplicar los datos a la resolución de problemas concretos.

5. EXPERIENCIAS DE IMPLANTACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE REDES DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como ejemplo de implantación, mantenimiento y explotación de una red de control de aguas subterráneas se presenta a

continuación la experiencia de la “Red de control de piezometría y calidad de aguas subterráneas de La Moraña” (Figura 4).

5.1 CONTEXTO Y ANTECEDENTES

Los problemas de sobreexplotación en los acuíferos de la zona regable del Río Adaja (Ávila) y la constante demanda de acciones de transformación agraria produjeron la declaración de esta, como zona de interés general de la Comunidad de Castilla León en 1991 (Decreto 11/1991).

Como consecuencia de todo esto y dentro de los programas de actuación que en materia de aguas subterráneas y regadíos desarrolla la Dirección General de Desarrollo Rural de la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla León, se realizó entre los años 1994 y 1996 el “Proyecto de actualización y ampliación de medidas piezométricas en la zona de la Moraña (Ávila), Iª fase” diseñándose una red de control piezométrico capaz de controlar la evolución del sistema acuífero en los futuros sectores regables y en su área de influencia, así como de comprobar algunas de las conclusiones de estudios estructurales previos. Desde un principio, también se quisieron abordar otros objetivos como el control de los retornos de los regadíos y su incidencia en la contaminación de los acuíferos mediante la medida de la conductividad.

En esta primera fase la red se instaló sobre ocho sondeos iniciándose el periodo de prueba y calibración a principios de 1996. En el periodo de funcionamiento en los años siguientes se detectaron diversos problemas, relacionados esencialmente con salidas de rango por las fuertes oscilaciones piezométricas, y sobre todo averías en los sensores causadas por los propios equipos de bombeo instalados en los sondeos (golpes en arranques o en maniobras de desmontaje-montaje de bombas, etc).

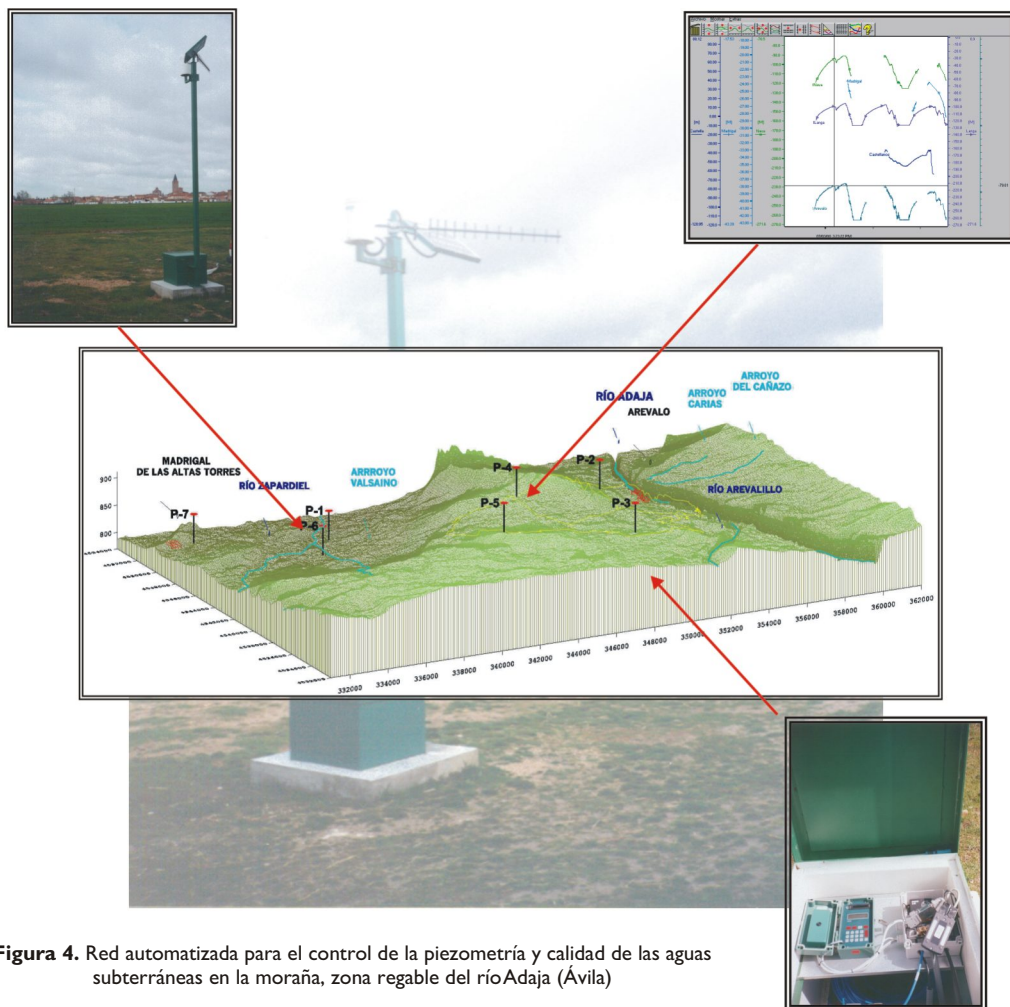


Figura 4. Red automatizada para el control de la piezometría y calidad de las aguas subterráneas en la moraña, zona regable del río Adaja (Ávila)

Una vez superada esta fase de prueba y calibración se trasladaron los equipos automáticos a piezómetros construidos expresamente para su alojamiento, dando origen a la segunda fase de desarrollo de este proyecto. En el momento actual se contempla la ampliación de esta red de control piezométrico y calidad de aguas subterráneas construyendo una serie de nuevos piezómetros y equipándolos también

con equipos automáticos de medida, registro y transmisión de datos.

Las características de los equipos ahora operativos son las siguientes:

Estación tipo A, componentes:

- Unidad de data logger, modelo MDS-III-A marca SEBA con 3 canales analógicos de entrada, para la medición del nivel,

temperatura, conductividad y 1 canal digital para la medición de la pluviometría.

- Unidad de sensor multiparamétrico modelo MPS 3 marca SEBA, para medir nivel, temperatura y conductividad.
- Pluviómetro modelo RG-50 marca SEBA Estación tipo B, componentes:
 - Unidad de data logger, modelo MDS-Insider marca SEBA, con 2 canales analógicos de entrada para la medición del nivel y la conductividad del agua.
 - Unidad de sensor multiparamétrico modelo MPS 2 marca SEBA, para medir nivel y conductividad del agua

En el momento actual, la red está compuesta por siete puntos de control, cinco de los cuales están dotados de sistema de teletransmisión vía GSM, estando previsto la implantación en el 2003 del sistema a los 3 piezómetros restantes (Figura 5).

5.2 EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO DE LA RED

Como ya se ha señalado, durante el periodo que siguió a la puesta en marcha de la Red y sus sucesivas actualizaciones, se ha constatado que si bien es cierto que los equipos instalados permitían cumplir los objetivos de la Red, seguían apareciendo diversos problemas en su explotación y en la gestión de los datos.

Las incidencias detectadas tanto a nivel de funcionamiento y precisión de los sensores, como de alimentación o saturación de memoria en los data logger, fallos en los sistemas de alimentación, o en la comunicación, incidían tanto en la precisión de los datos como en la propia integridad temporal de las series. Y estas incidencias podían tener orígenes “endógenos”, es decir por fallos de los elementos de los sistemas de la red, o “exógenos” causados por la manipulación incorrecta de los equipos,



Figura 5. Equipos data logger y aspecto general de las instalaciones

gestión incorrecta de los sistemas de lectura, o daños causados por actos vandálicos sobre las instalaciones.

Por todo ello la Dirección General de Desarrollo Rural de la Junta de Castilla y León lleva desarrollando con el apoyo de TRAGSATEC el mantenimiento y explotación de la Red, con el objetivo de consolidarla como herramienta de apoyo para la gestión de la Zona Regable, y en especial para realizar el seguimiento de la respuesta hidrogeológica ante las actuaciones en ella proyectadas.

El programa de mantenimiento y gestión de la Red se está desarrollando en las siguientes fases:

Fase 1: Implantación de la Red: Ya comentada.

Fase 2: Calibración de equipos: Desde su instalación se han realizado calibraciones periódicas de los equipos. Para ello se han utilizado sondas de referencia, tanto para el control de nivel como de la conductividad y temperatura. Concretamente se ha utilizado una sonda multiparamétrica Seba KLL-Q, y diversos conductivímetros y sondas de nivel.

Se destaca que en dos de los sondeos (Madrigal y Castellanos) se han instalado además sendos equipos de sonda de nivel + data logger modelo HIDROTECHNIK 550, con objeto de establecer una comparativa de precisiones y capacidades con los equipos SEBA HIDROMETRIE.

Fase 3: Gestión y explotación de la Red: Durante las fases anteriores se ha establecido un programa de mantenimiento y explotación, con los siguientes puntos:

■ Elaboración de instrucciones de manejo de equipos y de protocolo de mantenimiento: Como complemento de la

documentación técnica de los equipos, y con la filosofía de asegurar la correcta utilización de los equipos, se ha preparado un manual de operaciones con abundante información gráfica. En dicho manual se describen las operaciones rutinarias de programación, calibración, lectura de datos, pruebas de comunicaciones, etc. Anejo al manual se incluye un protocolo de mantenimiento, indicando las operaciones de mantenimiento preventivo (comprobación de carga del sistema fotovoltaico, cambio de baterías, limpieza de elementos del sistema, etc).

- Mantenimiento preventivo: De acuerdo con el mencionado manual de operaciones se han desarrollado campañas periódicas de revisión de los equipos. En estas visitas se ha aprovechado para hacer nuevas calibraciones, así como para tomar los datos de los equipos que no disponen aún de sistema de telecontrol.
- Mantenimiento correctivo: Como ya se ha señalado se han producido algunas incidencias en elementos de los equipos, tanto por fallos de los sistemas como por manipulaciones incorrectas y actos vandálicos. Aunque la mayor parte de las averías (fallos en terminales GSM o en sistema de alimentación, cortes de cables, etc) han podido resolverse "in situ", en dos ocasiones ha sido necesario contar con los servicios de la empresa distribuidora de los equipos.
- Gestión de la Red: La gestión de la Red se ha centralizado desde el Centro de control instalado provisionalmente en las oficinas de TRAGSATEC, utilizando el software OPERAR de SEBA, y gestionando tanto los datos capturados vía GSM como los adquiridos en campo del resto de los equipos. Con

los datos tratados se han elaborado diversos informes, a demanda del cliente.

- Explotación de la Red: Con la información de la Red, incluidos las series históricas que han podido recuperarse, se ha iniciado la fase de la explotación mediante la realización de un ejercicio de modelización matemática (Visual MOFLOW) con el que, una vez calibrado, se han realizado simulaciones de diversos escenarios de explotación de los recursos hídricos en la zona (Figura 6).

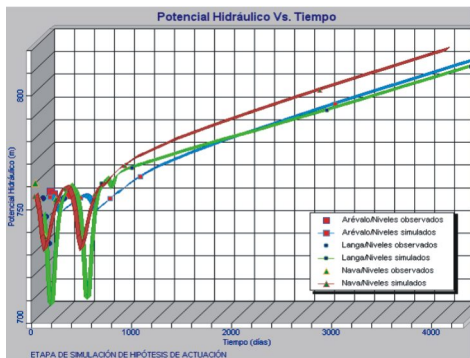


Figura 6. Evolución de los niveles piezométricos en los puntos de la red automatizada

En definitiva, la experiencia desarrollada con esta Red pone de manifiesto no solo la relativa facilidad de su continuidad, partiendo de un compromiso por parte del organismo responsable de destinar recursos a su mantenimiento y explotación, sino también de sus potencialidades como herramientas de control y gestión de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

A los Dres. Ingenieros Agrónomos Alvaro Martínez Álvarez y Javier Bengoechea Peré, que desde la Consejería de Agricultura de la

Junta de Castilla y León han posibilitado la puesta en servicio y explotación de la red de control de La Moraña.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrojo, P. (2000) "Valoración de las aguas subterráneas en el marco económico general de la gestión de aguas en España". Colección Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Fundación Marcelino Botín.
- Castillo, H. (1994). "Análisis de la demanda de nuevos regadíos en España. Horizonte año 2012". Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX, MOPTMA.
- Barreira, A. SASTRE, M. y LLAMAS, R. (2001) "Aplicabilidad al PHN de la Directiva Marco del Agua". Jornada sobre las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional. A.I.H. Grupo español.
- Codina, J. (2001) "Aspectos relativos a la participación de los usuarios establecidos en la Directiva Marco" Jornadas sobre la Directiva Marco del Agua y sus implicaciones para la gestión del agua en España. IWRA/CENTA. Sevilla.
- Collin, J.J. y Roque, F. (1989). "Control limnigráfico del fenómeno de sobreexplotación de los acuíferos". Congreso nacional Sobreexplotación de Acuíferos. Almería.
- Corominas, J. (1999) "Papel de las aguas subterráneas en los regadíos". Jornadas sobre las Aguas Subterráneas en el Libro Blanco del Agua en España. A.I.H. Grupo Español.
- Cruces de Abia, J. (2001) "Evaluación de recursos y el Libro Blanco. Metodología utilizada en cuanto a las Aguas Subterráneas". Publicaciones Grupo Español A.I.H.

- Custodio, E. (2000) "The complex concept of overexploited aquifer". Colección Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Fundación Marcelino Botín.
- D.O.C.E. (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." DOCE del 22-12-2000.
- Foster, S. (2000) "Sustainable groundwater exploitation for Agriculture; current issues and recent initiatives in the developing world". Colección Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Fundación Marcelino Botín.
- Llamas, M. R. et al (2000) "El uso sostenible de las aguas subterráneas". Colección Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Fundación Marcelino Botín.
- Lloyd, J. W. (1991). "Protective and corrective measures with respect to the over-exploitation of groundwater". XXIII Congreso Internacional de la A.I.H.. Sobreexplotación de acuíferos. Islas Canarias. España.
- Martínez, J. y Ruano, P. (1998) "Aguas subterráneas. Captación y aprovechamiento". PROGENSA.
- MIMAM (1998) "Libro Blanco del Agua en España. Documento de Síntesis". Secretaría de Estado de Aguas y Costas.
- MIMAM (1999) "Ley 46/99, de 13 de diciembre. de modificación de la Ley 29/85, de 2 de agosto, de Aguas". Secretaría de Estado de Aguas y Costas.
- MINER/M.O.P.T.M.A. (1994) "Libro blanco de las aguas subterráneas". Serie Monografías MINER/MOPTMA. Madrid.
- Muzikar, R. y Rogel, J. M. (1994) "Técnica y metodología del seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas para su control y detección de la contaminación". Congreso Nacional sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas. Alcalá de Henares, Madrid. España.
- Ortiz, J. L. (2001) "Consideraciones generales sobre la Directiva Marco del agua". Jornadas sobre la Directiva Marco del Agua y sus implicaciones para la gestión del agua en España. IVRA/CENTA. Sevilla.
- Sampat, P. (2000) "La crisis de las aguas subterráneas. La contaminación de las mayores reservas de agua dulce del planeta" Public. World Watch Institute.
- Samper, J. (2001) "El PHN. La calidad y la contaminación de las aguas subterráneas" Jornada sobre las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional. A.I.H. Grupo español
- Sauquillo, A. (1999) "La calidad y la contaminación de las aguas subterráneas" Boletín Geológico y Minero nº 110. Publicaciones ITGE.
- Shiklomanov, I. (1997) "Comprehensive assessment of the freshwater resources of de world". Informe E/CN 17/1997/9. Publ. O.M.M.
- Toth, J. (2000) "Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones". Boletín Geológico y Minero, volumen III.