

Defender el regadío con datos: gestión técnica y digitalización en masas de agua subterránea en riesgo del Alto Guadiana

Jesús Octavio Sánchez

CUAS Lillo-Quintanar. Confederación Hidrográfica del Guadiana

Palabras clave: gestión de aguas subterráneas; balance hídrico; modelización numérica; control volumétrico; comunidades de usuarios; masas en riesgo; Guadiana.

Resumen. Las masas de agua subterránea del Alto Guadiana no son únicamente una delimitación hidrogeológica definida en cartografía administrativa. Constituyen el soporte físico de un sistema productivo que vertebra territorio, empleo y estabilidad socioeconómica en amplias zonas de Castilla-La Mancha. Durante décadas, estas masas han soportado presiones extractivas acumuladas que, combinadas con una variabilidad climática creciente y con una mayor exigencia normativa derivada de la Directiva Marco del Agua y de los programas de actuación frente a nitratos, han generado situaciones de desequilibrio cuantitativo y afecciones químicas significativas en determinados sectores.

En este escenario complejo, defender el regadío no puede plantearse como una oposición entre uso y protección, ni como una confrontación entre actividad económica y sostenibilidad ambiental. La defensa técnica del regadío pasa necesariamente por profesionalizar su gestión, reducir incertidumbres y fundamentar las decisiones en datos verificables e interpretación hidrogeológica rigurosa. La sostenibilidad no es un concepto abstracto; es un equilibrio dinámico que debe medirse, analizarse y ajustarse de forma continua.

Durante años, el principal problema no fue la ausencia de información, sino su fragmentación. Han coexistido redes piezométricas consolidadas, registros administrativos de derechos, datos de extracciones y series climáticas amplias, pero no siempre integradas en un sistema operativo capaz de interpretar el comportamiento del acuífero de forma dinámica. Esta disociación entre datos disponibles y análisis integrado ha favorecido una gestión predominantemente reactiva: se actuaba cuando el descenso ya era evidente o cuando la presión normativa obligaba a adoptar medidas restrictivas. Sin embargo, la irregularidad interanual de las precipitaciones, la recurrencia de periodos secos consecutivos y la creciente sensibilidad ambiental exigen abandonar ese enfoque. La gestión de masas en riesgo debe evolucionar hacia un modelo anticipativo, apoyado en análisis continuo, escenarios cuantificados y capacidad de simulación. No se trata únicamente de controlar, sino de comprender el sistema y proyectar su evolución bajo distintos regímenes de explotación y condiciones climáticas.

El primer pilar de esta transición es la medición fiable de las extracciones. La diferencia entre derechos inscritos y usos efectivos no es un matiz administrativo; es una variable crítica en la formulación del balance hídrico. La implantación progresiva de sistemas de control volumétrico verificado y telemedida permite sustituir estimaciones por registros reales de bombeo. Este cambio tiene una implicación hidráulica directa: reduce significativamente la incertidumbre asociada al término de explotación (E) en el balance del sistema y permite contrastar de forma objetiva la relación entre presión y respuesta piezométrica.

El segundo pilar es la integración sistemática de la información. La piezometría describe la respuesta del acuífero; las extracciones representan la presión; la pluviometría y la evapotranspiración introducen las condiciones externas de recarga y demanda climática. Analizadas por separado, estas variables ofrecen visiones parciales. Integradas en plataformas SIG y entornos digitales, permiten detectar patrones espaciales, identificar sectores con comportamientos diferenciados y evaluar la coherencia entre evolución piezométrica y volúmenes extraídos. La digitalización, por tanto, no es una cuestión tecnológica en sí misma, sino una herramienta para convertir datos dispersos en conocimiento operativo.

El tercer pilar es la base hidrogeológica rigurosa. La digitalización no sustituye al modelo conceptual; lo exige. La determinación de transmisividad, coeficiente de almacenamiento, radios de influencia e interacciones entre captaciones mediante ensayos de bombeo correctamente diseñados e interpretados sigue siendo el fundamento de cualquier análisis avanzado. En el Alto Guadiana coexisten materiales detríticos y formaciones carbonatadas con comportamientos hidráulicos claramente diferenciados. La heterogeneidad litológica condiciona la propagación de descensos, la conectividad hidráulica y la capacidad de recuperación tras episodios húmedos. Simplificar en exceso este marco conceptual puede conducir a diagnósticos imprecisos y a decisiones desproporcionadas.

Desde una perspectiva cuantitativa, la gestión debe apoyarse en la formulación explícita del balance hídrico del sistema. La variación de almacenamiento (ΔS) puede expresarse como:

$$\Delta S = R - E - Q$$

donde R representa la recarga efectiva, E las extracciones reales y Q los flujos naturales de salida o transferencia. La reducción de la incertidumbre en cada uno de estos términos constituye una línea prioritaria en la hidrogeología aplicada contemporánea, especialmente en acuíferos sometidos a presión agrícola. En este contexto, la mejora en la estimación de E mediante control volumétrico verificado representa un avance estructural. Asimismo, la comparación entre la evolución piezométrica observada y los

volúmenes efectivamente extraídos permite validar o ajustar el modelo conceptual del acuífero. Cuando la evolución del almacenamiento no resulta coherente con las extracciones registradas, se hace necesario revisar hipótesis relativas a la recarga, conectividad hidráulica o parametrización del sistema.

En coherencia con esta evolución metodológica, la modelización numérica calibrada adquiere un papel central en la planificación. Calibrar un modelo implica ajustar parámetros hasta reproducir de forma consistente el comportamiento histórico observado en niveles piezométricos y respuestas a bombeo. Solo cuando el modelo reproduce el pasado con coherencia puede utilizarse para explorar escenarios futuros con cierto grado de fiabilidad.

En el caso de la masa Lillo-Quintanar, el modelo hidrogeológico se encuentra actualmente en fase de desarrollo, apoyado en la sistematización de datos de extracción y seguimiento piezométrico acumulados en los últimos años. La implantación de herramientas de digitalización y control financiadas en el marco del PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua permitirá mejorar la cuantificación de entradas y salidas del sistema, reducir la incertidumbre asociada al balance hídrico y reforzar el proceso de calibración y validación progresiva del modelo conceptual e hidráulico.

La simulación de distintos regímenes de extracción, secuencias de años secos o cambios en la estructura de cultivos permitirá evaluar de forma cuantitativa su impacto sobre el almacenamiento y la tendencia piezométrica. Esta capacidad de simulación aportará solidez técnica a la toma de decisiones y favorecerá ajustes progresivos frente a restricciones generalizadas aplicadas sin diferenciación espacial.

La experiencia desarrollada en la masa de agua subterránea Lillo-Quintanar resulta ilustrativa de esta transición. Antes de la constitución formal de la comunidad de usuarios en 2015, la gestión respondía en gran medida a dinámicas individuales. La masa era percibida como una suma de captaciones independientes, sin una visión integrada del sistema. El control volumétrico no era homogéneo y la percepción de corresponsabilidad colectiva era limitada.

La creación de la CUAS supuso un cambio estructural hacia una lógica de sistema basada en corresponsabilidad y control efectivo, pero también en capacidad técnica operativa. La comunidad dejó de ser únicamente un marco administrativo de representación para convertirse en una estructura capaz de generar, validar e interpretar datos hidráulicos en tiempo real. En este sentido, la comunidad de usuarios actúa como una estructura técnica de integración entre la explotación individual y la planificación hidrológica, aportando información contrastada y análisis aplicado.

Este proceso ha ido acompañado de una evolución progresiva en la cultura de gestión del recurso. La implantación del control volumétrico verificable y la disponibilidad de

información objetiva han favorecido una mayor interiorización del carácter finito del acuífero y de la responsabilidad compartida en su estabilidad, alineando progresivamente las decisiones individuales de extracción con los objetivos colectivos de sostenibilidad.

Esta transformación no ha sido únicamente organizativa, sino también instrumental. La gestión inicial se apoyaba fundamentalmente en herramientas básicas de registro y tratamiento de datos, como hojas de cálculo o bases de datos administrativas aisladas, suficientes para el control formal pero limitadas para el análisis hidrogeológico integrado. La evolución hacia entornos de análisis espacial y modelización ha permitido incorporar sistemas de información geográfica (QGIS, ArcGIS), bases de datos relacionales con componente geoespacial (PostgreSQL/PostGIS), herramientas específicas para la interpretación de ensayos de bombeo (AquiferTest), modelización de flujo subterráneo (FEFLOW/MODFLOW) y, en su caso, modelización hidráulica superficial (HEC-RAS, IBER). Asimismo, el análisis geoquímico mediante herramientas como PHREEQC permite abordar procesos de especiación y evolución de contaminantes, reforzando la integración cantidad-calidad en la gestión del sistema.

Actualmente, más del 90 % de las captaciones cuentan con control volumétrico verificado. Este avance permite conocer con precisión la presión real ejercida sobre la masa y analizar su relación directa con la evolución piezométrica. La integración de datos de extracción, niveles y clima ha permitido identificar comportamientos sectoriales diferenciados y ajustar la interpretación de tendencias.

Este nivel de control no solo mejora la precisión del balance hídrico, sino que dota a la comunidad de una capacidad de seguimiento continuo que trasciende la mera función de cumplimiento normativo. La disponibilidad de datos agregados y verificados permite evaluar tendencias sectoriales, detectar desviaciones tempranas y ajustar recomendaciones internas antes de que el sistema alcance situaciones críticas. De este modo, la comunidad de usuarios actúa como instrumento técnico de autorregulación hidráulica complementaria, reduciendo la distancia entre explotación real y planificación oficial y facilitando la implementación efectiva de las decisiones adoptadas por la administración competente.

El análisis de la serie piezométrica 2014-2025 muestra una diferencia clara entre el periodo previo a 2019 y el posterior. Desde 2019 no se observan descensos acumulativos sostenidos, sino oscilaciones coherentes con la variabilidad climática interanual y recuperaciones tras episodios favorables. Este comportamiento no debe interpretarse como una recuperación lineal, sino como una estabilización dinámica, caracterizada por una reducción de la pendiente negativa y una mayor coherencia entre extracción y respuesta hidráulica.

La evolución estructural del regadío hacia cultivos leñosos de menor dotación y sistemas de riego localizado más eficientes ha contribuido a moderar la presión hídrica específica. La combinación de control efectivo, corresponsabilidad colectiva y base hidrogeológica rigurosa demuestra que la gestión basada en datos puede modificar tendencias sin recurrir exclusivamente a reducciones drásticas y uniformes.

En el ámbito del estado químico, la presencia significativa de nitratos introduce una dimensión temporal adicional. El almacenamiento de nitrógeno en la zona no saturada y los tiempos de tránsito en el acuífero generan desfases entre las prácticas agronómicas y la manifestación de concentraciones en captaciones. Esta realidad obliga a considerar el sistema como un conjunto acoplado cantidad-calidad, en el que la modificación de extracciones puede alterar gradientes hidráulicos y, por tanto, trayectorias de transporte. La gestión integrada debe contemplar estas interacciones, incorporando análisis de tendencias, delimitación de zonas fuente y evaluación de posibles medidas correctoras basadas en criterios hidrogeológicos.

El Alto Guadiana se encuentra, en definitiva, en un proceso de transición estructural: desde la estimación hacia la medición real, desde la fragmentación hacia la integración sistemática de información, desde la reacción tardía hacia la planificación apoyada en balance cuantitativo y modelización calibrada. Defender el regadío en este contexto no significa oponerse a la recuperación ambiental, sino asumir que la sostenibilidad exige profesionalización, transparencia y decisiones fundamentadas en análisis técnico riguroso.

En este contexto, las comunidades de usuarios no deben entenderse únicamente como entidades administrativas encargadas de ordenar derechos, sino como plataformas técnicas de gestión distribuida del recurso. Cuando disponen de control volumétrico fiable, integración digital y base hidrogeológica rigurosa, pueden convertirse en instrumentos eficaces de implementación de la planificación hidrológica, aportando datos reales, análisis continuo y capacidad de adaptación operativa.

Medir mejor, integrar mejor y modelizar con coherencia constituye la condición necesaria para compatibilizar actividad agraria y equilibrio hidrogeológico. Pero hacerlo desde estructuras colectivas profesionalizadas refuerza además la gobernanza del sistema, acercando la gestión técnica al territorio y facilitando una transición desde el control reactivo hacia la corresponsabilidad hidráulica.

Este enfoque no constituye una excepcionalidad local, sino un modelo replicable en otras masas en riesgo donde la gestión colectiva, apoyada en datos reales y análisis hidrogeológico riguroso, pueda actuar como elemento estabilizador del sistema.