

## **TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN Y OBSERVACIÓN DE LA TIERRA PARA MEJORAR LA PARTICIPACIÓN Y TRANSPARENCIA EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**Alfonso CALERA BELMONTE\***, **M. Anna OSANN JOCHUM\***, **David SANZ\*** y  
**Herminio MOLINA ABELLÁN\*\***

(\*) Universidad de Castilla La Mancha. 02071 Albacete. [Alfonso.Calera@uclm.es](mailto:Alfonso.Calera@uclm.es);  
[Anna.Osann@uclm.es](mailto:Anna.Osann@uclm.es); [David.Sanz@uclm.es](mailto:David.Sanz@uclm.es)

(\*\*) Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental. 02004 Albacete.  
[h\\_molinaa@hotmail.com](mailto:h_molinaa@hotmail.com)

### **RESUMEN**

La gestión del agua en la agricultura se enfrenta a importantes retos y presiones, que se acrecientan en el caso de la utilización de aguas subterráneas por sus características espacialmente distribuidas e intensivo uso. Como los nuevos retos se producen en múltiples ámbitos tales como el de gestión, el tecnológico, ambiental, social, económico y político, la respuesta requiere darse en varios ámbitos y escalas espaciales y temporales, esto es la gestión integrada de recursos hídricos. Aspectos de participación y transparencia emergen con fuerza para ayudar a la prevención y solución de los conflictos que generan las presiones. Antes esos nuevos retos, nuevas tecnologías pueden ofrecer nuevas perspectivas interesantes. Así se analiza en casos concretos cómo la combinación de tecnologías de Observación de la Tierra mediante satélites, los SIG y las Tecnologías de Información y Comunicación pueden proporcionar herramientas que ayuden en la toma de decisiones en las diferentes escalas y ámbitos donde es necesaria la actuación en la gestión del agua en la agricultura de regadío. Se destaca especialmente el caso de aguas subterráneas, donde los métodos convencionales de planificación, seguimiento y control se hacen sumamente difíciles.

**Palabras Clave:** *Gestión agua subterránea, Teledetección, SIG, Información y Comunicación*

### **INTRODUCCIÓN**

La transformación en regadío con aguas superficiales y/o subterráneas y la mejora en la producción agraria mediante el uso intensivo de fertilizantes y maquinaria, constituyeron una gran aspiración de la sociedad española a lo largo del siglo XX, inscribiéndose como uno de los elementos básicos de la denominada corriente regeneracionista representada por el aragonés Joaquín Costa en el primer tercio del pasado siglo. Esta tendencia llega a impulsar la propuesta del Plan Hidrológico Nacional de 1993 que pretendía interconectar todas las

cuenca hidráulica, que finalmente no llegó a presentarse al Parlamento (ALBIAC, et al., 2007).

Hasta hace pocas décadas las obras de infraestructura necesarias tales como embalses, canales de distribución, sondeos e incluso el trasvase Tajo-Segura, que se inicia ya en el tercer tercio del siglo XX, se justificaban plenamente ante la sociedad española de entonces porque eran el anuncio de un incremento en la producción de alimentos, además de generación de riqueza y símbolo de modernidad; y la producción de alimentos era esencial para una sociedad que a finales de la década 1960-1970 todavía recordaba tiempos de penuria y escasez.

En la actualidad y en relación con los alimentos, la opulenta sociedad española del inicio del siglo XXI está más preocupada por su calidad y el sobrepeso, que por su posible escasez, al igual que sucede en otras sociedades industrializadas. Como consecuencia, el papel y la justificación social de la agricultura han cambiado profundamente. Una cierta corriente de opinión difusa presenta a los agricultores y a la agricultura como derrochadores de agua, que podría destinarse a otras cosas más rentables. Dicha corriente se apoya, entre otras cuestiones, en la percepción de que los alimentos “aparecen” en las estanterías de los centros comerciales, lo que pone de manifiesto la desconexión que se ha producido para la opinión pública entre el agricultor, origen de la cadena alimentaria, y el consumidor. El agricultor ha desaparecido en buena medida ante los ojos de la sociedad como el agente fundamental en la producción de alimentos.

Junto a la agricultura y a los sectores demandantes de agua tradicionales, como son el abastecimiento urbano e industrial, otros de diferente signo han emergido con fuerza, presionando los limitados recursos disponibles de agua dulce. Se contemplan necesidades de agua en cantidad y calidad tanto para el medio natural, caudal ecológico, conservación de zonas húmedas, y en general recuperación del medio natural- como para el denominado sector de la construcción, turismo y ocio, valgan como ejemplos los campos de golf y zonas residenciales, por mencionar dos sectores emergentes en el uso del agua que no estaban presentes hace unas décadas.

A los profundos cambios sociales señalados que a su vez conllevan sustanciales cambios legislativos, hemos de añadir fenómenos nuevos en la historia de la agricultura de regadío, que ocurren simultáneamente, como es el uso intensivo de aguas subterráneas denominado por algunos autores como “revolución silenciosa”, (LLAMAS y MARTÍNEZ-SANTOS, 2005), para el cual los instrumentos de gestión tradicionales del modelo basado exclusivamente en aguas superficiales se han revelado ineficaces.

Además, el agua –en los aspectos de calidad, cantidad, disponibilidad, origen y uso- se ha situado en un lugar muy relevante en la opinión pública de nuestra sociedad. La gestión, utilización y reparto del agua es uno de los elementos de conflicto entre territorios que atraviesan la sociedad española. La mejor o peor gestión del agua en la agricultura salta frecuentemente a los medios de comunicación como arma arrojadiza en el debate político.

También inciden las negativas predicciones desde modelos atmosféricos de predicción a largo plazo que señalan una tendencia a la disminución de las precipitaciones en nuestra área como consecuencia del denominado calentamiento global. Sequías, inundaciones y desertificación, podrían extremarse en el ya de por sí extremadamente variable clima mediterráneo.

Los aspectos contemplados sitúan a la gestión del agua en la agricultura ante importantes retos y presiones. La gestión del agua, esto es su uso y la productividad del agua hay que analizarlas además en diferentes ámbitos espaciales. Parcela, finca, zona regable y cuenca hidrográfica o acuífero subterráneo son niveles de gestión del agua de riego, y se corresponden con distintas escalas espaciales, así como responden a diferentes usuarios y ámbitos administrativos. Por tanto, la escala o, más concretamente, la delimitación del sistema y el grado de agregación elegidos, son críticos en la interpretación del uso y la productividad del agua.

Como los nuevos retos se producen en múltiples ámbitos tales como el de gestión, el tecnológico, ambiental, social, económico y político, la respuesta requiere darse en varios ámbitos y escalas espaciales y temporales. Esto es lo que se suele denominar gestión integrada de recursos hídricos, en la que la clave la proporciona la necesidad del incremento de la eficiencia en los diferentes ámbitos y escalas consideradas.

Antes esos nuevos retos, nuevas tecnologías pueden ofrecer nuevas perspectivas interesantes. Entre ellas se encuentran la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, así como las Tecnologías de la Información y Comunicación, herramientas adecuadas para la generación de información actualizada y para su transmisión a diferentes escalas espaciales en el ámbito temporal adecuado.

Las reflexiones y ejemplos que se presentan acerca de la capacidad de estas nuevas tecnologías, tratan de señalar algunos elementos que pudieran ayudar a construir de forma equilibrada el muy difícil mosaico del uso del agua en la agricultura de regadío sostenible tanto en los aspectos de gestión como en el de la mejora en la eficiencia en el uso del agua. Son fruto de la experiencia conjunta de una década con regantes y administraciones en la aplicación y desarrollo de herramientas tecnológicas para la gestión del agua.

Previamente es preciso establecer una “cuestión de orden” para tomar una cierta distancia. Señalar la paradoja que frente a nuestra situación de relativa abundancia, para muchos millones de seres humanos el agua representa la vida o la muerte, en un aspecto tan esencial como es el abastecimiento de agua potable. Además, para grandes áreas del planeta, la agricultura de regadío es la gran esperanza para proporcionar alimentos y desarrollo ante el previsible incremento demográfico que llevará la población de nuestro planeta de los actuales 6.000 millones a los 8.100 millones en año 2030, de acuerdo con las predicciones de FAO, 2003.

## **EL CAMBIO EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA. EL CASO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Como se ha señalado anteriormente, el uso intensivo de aguas subterráneas propiciado por la aparición de tecnologías como la bomba sumergida y la electrificación ha supuesto la transformación en regadío de grandes superficies realizada directamente por particulares.

Autores como LLAMAS y MARTÍNEZ-SANTOS, 2005 no han dudado en llamarlo la “revolución silenciosa” *“Es revolución porque está produciendo importantes impactos sociales y económicos. Es silenciosa porque ha sido realizada sin ruido, sin aparatosas ceremonias de inauguración. Sus autores principales han sido millones de agricultores*

*modestos que en casi todas las regiones áridas y semiáridas del planeta han perforado millones de pozos”. ...*

Las decenas de miles de pozos legales, alegales e ilegales de las llanuras manchegas, a los que todavía no hay nadie que ponga una cifra, si no es a base de estimaciones, las de alrededor de 12.000 balsas de riego de los agricultores murcianos que permiten un uso mixto de aguas superficiales del acueducto Tajo Segura con las subterráneas, balsas que consideradas conjuntamente constituyen un embalse no contabilizado ni visualizado hasta ahora y cuya superficie equivale a un embalse de tamaño medio, las 16.000 balsas asociadas a los invernaderos de Almería, son expresiones numéricas de esta revolución, que se ha dado en mas o menos extensión en la mayor parte de España, combinada con las formas clásicas de embalses y distribución de agua en canales. Tal y como menciona LLAMAS, 2006 *“lo que ocurre en España no es muy diferente a lo que sucede en casi todos los países áridos o semiáridos (CUSTODIO y LLAMAS, 2003)... Quizás el caso más notable sea la India donde se han puesto en regadío con aguas subterráneas más de 40 millones de hectáreas en los últimos cuarenta años. Y ese país ha pasado de padecer hambrunas frecuentes y generalizadas a convertirse en un importante exportador de grano (SHAH, 2005). Este desarrollo del agua subterránea ha sido usualmente financiado y realizado por particulares o pequeños municipios”*.

La transformación descrita ha traído también, además de un importante desarrollo socioeconómico, problemas asociados al descenso continuado de los niveles piezométricos, desconexión de zonas húmedas con los acuíferos que las alimentaban, como es el caso emblemático del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, contaminación de acuíferos, y muy serios problemas de gestión y de organización de las superficies regadas.

## **DIAGNÓSTICO, CARACTERÍSTICAS Y NECESIDADES DE LA GESTIÓN: TRANSPARENCIA Y PARTICIPACIÓN**

En España, de forma similar a otras partes del mundo, mientras que la administración agraria potenciaba la expansión de este tipo de regadío, más eficiente y con menor coste que el asociado a las infraestructuras tradicionales de embalses y canales de distribución, la administración hidráulica no se preparó adecuadamente para responder a los nuevos retos. La razón básica aducida fue que hasta la Ley de Aguas de 1986, la administración hidráulica tenía competencias exclusivamente sobre las aguas superficiales. La inercia administrativa y política puede explicar el que todavía se continúe pensando en gran medida en una gestión semejante a como se ha hecho históricamente –red de embalses y canales, y sus elementos de control asociados- cuando se tiene que enfrentar a complejas realidades sociales, técnicas y políticas bien distintas.

Algunos aspectos relativamente nuevos de la gestión del agua en la agricultura se pueden resumir en:

- La aparición de un nuevo tipo de regadíos, basados en el uso intensivo de aguas subterráneas, gestionados por miles de agricultores individuales, distribuidos espacialmente a lo largo de decenas de miles de kilómetros cuadrados, en combinación o no con aguas superficiales.

- Una agricultura con sectores en crisis y otros muy competitivos, con pequeño peso tanto en el PIB como en cuanto a mano de obra en relación con el conjunto nacional, aunque estratégico por dotar de seguridad alimentaria a la sociedad, así como por generar un importante valor añadido por el impacto indirecto.

- La irrupción de una opinión pública que quiere conocer en profundidad el uso del agua y muy sensibilizada en los aspectos medioambientales, para la cual el papel y justificación tradicional de la agricultura ha cambiado profundamente.

- El desarrollo de estructuras políticas territoriales que configuran un complejo entramado de competencias legales y plantean conflictos o reivindicaciones en los que el agua es un elemento fundamental.

- La aplicación de una nueva legislación –la Directiva Marco del Agua- que introduce los requisitos ambientales y el principio de recuperación de costes en la gestión del agua, junto con la aparición de una importante componente de participación de los diferentes actores sociales involucrados en la gestión del agua actores que van más allá de los usuarios tradicionales como las autoridades, regantes, usuarios industriales y urbanos, incorporando movimientos ambientales y organizaciones no gubernamentales.

- La aparición de sectores emergentes – industria, urbano/residencial, turismo, ocio - que demandan agua y por tanto incrementan la presión sobre los escasos recursos disponibles.

Un diagnóstico bastante compartido es que estos retos requieren instrumentos de gestión que sean capaces de establecer una potente ordenación, regulación y control del uso del agua. Se acepta unánimemente que este requisito ha de ser previo tanto a políticas tradicionales de una mayor oferta del recurso bien sea desde desaladoras y/o desde trasvases, como a otras políticas restrictivas que pudieran adoptarse (LLAMAS, 2006). La experiencia repetida indica que sin ordenación y control, la política de oferta se traduce en que se amplifica nuevamente la demanda de forma descontrolada, y la política de restricciones desata “insumisión hidrológica”.

Tal y como señalan LÓPEZ GUNN y HERNÁNDEZ-MORA, 2001, *“una de las características esenciales de un sistema eficaz y duradero de gestión colectiva de un recurso común es la existencia de una estructura adecuada de vigilancia y control de las extracciones, así como de un sistema de sanciones diferenciadas y graduadas, que sean entendidas por los usuarios y percibidas como justas (OSTROM, 1992)”*.

## **Transparencia y participación**

Además, la característica nueva más relevante de esta gestión es que necesariamente ha de basarse en los principios básicos de participación y transparencia para tener en cuenta los múltiples aspectos que se han mencionado en el diagnóstico y que se permita así la cooperación de los diferentes actores sociales involucrados

La participación requiere que tanto las administraciones como los regantes y el resto de actores sociales han de compartir una adecuada, buena y actualizada información base acerca de las superficies regadas y del origen del agua. Asimismo han de coparticipar en la toma de decisiones, estableciendo el acceso a dicha información de forma transparente a otros agentes o actores sociales. La transparencia ha de darse dentro de un territorio, pero también de unos

territorios con otros dentro de una misma cuenca hidrográfica, y de unas cuencas con otras. Dicha transparencia tendría que tener mecanismos para ser verificable y generaría confianza y seguridad, además de poner las bases para la resolución de conflictos por acuerdo.

Es evidente que la actual situación ha de mejorar en la necesaria transparencia y participación, empezando por la disponibilidad de una buena, adecuada y actual información base sobre la distribución y superficie de los regadíos, así como del origen del agua, siguiendo por la adopción de mecanismos que faciliten la transparencia y participación.

Preguntas tan básicas como cual es la superficie regada, cuanta agua se extrae de un acuífero, cuanta agua se usa en el riego, en una parcela, explotación, unidad de gestión hídrica, zona regable, acuífero y en una cuenca hidrográfica han de ser contestadas con precisión y en tiempo real. De esta forma serán fiables y creíbles los denominados Planes de Explotación. Para ello será preciso recorrer un largo camino.

## **NUEVAS TECNOLOGÍAS OFRECEN NUEVAS PERSPECTIVAS**

Antes los nuevos retos anteriormente descritos, nuevas tecnologías pueden ofrecer nuevas perspectivas interesantes. Las nuevas tecnologías pueden aportar conocimiento útil, permiten compartir la información base y facilitan el acceso de los actores sociales a dicha información y generan valor añadido y empleo de alto valor. Y todo ello a coste bajo.

La periódica observación de la tierra mediante satélites o aviones es un instrumento adecuado para el seguimiento de la cobertura del suelo en la gestión del agua en la agricultura, ya que el uso del agua tiene como inmediata consecuencia la aparición de una cubierta vegetal diferente de la no utilización de agua de riego; además permite disponer de una información “objetiva” con aquellas limitaciones derivadas de la frecuencia de observación y otras características tecnológicas y dicha información puede ser compartida por diversos agentes y verificada utilizando los denominados Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Los SIG permiten conectar el seguimiento de la cobertura del suelo desde la imagen con la realidad administrativa parcelaria del catastro y unir así los bancos de datos de la administración asociados, junto con la información obtenida en trabajo de campo. Las denominadas TIC permiten acceder en tiempo real “on line” y compartir dicha información, sin importar demasiado su complejidad.

En la actualidad, treinta y cinco años desde el lanzamiento del primer satélite de Observación de la Tierra, ya disponemos de la tecnología, y casi más importante todavía, se ha desarrollado un Sistema de Observación de la Tierra integrado por un subsistema espacio y por un subsistema tierra, preparados para funcionar en tiempo real de forma operativa proporcionando información útil. Señalar que, paradójicamente, es precisamente el subsistema espacio el punto más vulnerable y el que presenta mayores limitaciones (CALERA, et al., 2005; OSANN JOCHUM, et al., 2006), aspecto al que no nos vamos a referir en este trabajo.

El desarrollo científico ha hecho posible derivar desde la imagen de satélite la evapotranspiración de un cultivo de regadío y por tanto establecer la óptima cantidad de agua a aplicar, combinando la información del satélite con la información desde las estaciones agrometeorológicas del SIAR del Ministerio de Agricultura. Y es posible hacerlo en solamente un día tras la adquisición de la imagen por el sensor. Además, y casi tan relevante como lo anterior, el uso de las tecnologías TIC actuales permiten poner esa información en

manos del agricultor y/o del gestor, prácticamente de forma instantánea, abarcando miles de parcelas y miles de kilómetros cuadrados (CALERA, et al., 2005; OSANN JOCHUM, et al., 2006). Y repetir esta operación cada semana. Y además introduce a un sector agrario en el uso de estas tecnologías, que puede crear empleo de alto valor y, sorprendentemente, es barato.

## **APLICACIÓN OPERATIVA DEL USO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS**

### **El control de la superficie regada**

El control de la superficie regada es un primer elemento básico en la gestión. Si el seguimiento clásico mediante trabajo de campo presenta dificultades cuando el agua se almacena en embalses superficiales y se distribuye mediante canales y acequias bien conocidas y cartografiadas, la dificultad se incrementa sustancialmente cuando son superficies regadas con aguas subterráneas o con sistemas mixtos superficial-subterránea. En este caso, el seguimiento requiere un enfoque diferente al del tradicional, ya que la experiencia reiterada, tanto en España como en otros lugares del mundo, evidencia que el seguimiento y control de las superficies regadas desde centenares o miles de pozos no puede ser realizado mediante métodos tradicionales.

Probablemente el control de la superficie regada es la más clásica de las aplicaciones de la Teledetección en la gestión del agua, y permite obtener desde las imágenes de satélite un mapa temático digital que describa la distribución espacial de las diferentes cubiertas y/o usos de suelo presentes en un área determinada. Iniciativas globales a escala europea como CORINE Land Cover son suficientemente conocidas para ilustrar esta aplicación. En el caso que nos ocupa, el interés se centra en la distribución espacial de cultivos de regadío. El uso de imágenes de satélite junto con fotografías aéreas con este fin ha sido objeto, o lo es en este momento, de programas y/o proyectos en prácticamente todas las confederaciones hidrográficas, combinado con la metodología clásica de inventarios de campo.

La capacidad de integración de los mapas digitales de superficies regadas en un SIG, y su difusión a los actores sociales involucrados mediante la tecnología de servidores de mapas, constituye una herramienta relevante de participación y transparencia en la gestión del agua, y se salvarían así las serias limitaciones impuestas al manejo y difusión de la información en papel.

Sin embargo, el uso actual de las capacidades tecnológicas actuales descritas se encuentra en sus albores, tanto por la novedad de la tecnología como porque su aplicación requiere un cambio no sólo en los aspectos más técnicos, sino porque el cambio se ha de producir también en el aspecto cultural, social y político; dicho cambio radica en el aprendizaje y utilización de esta información y afecta en mayor o menor medida a todos los actores sociales anteriormente descritos. Aspectos relacionados con la necesidad de regular el acceso a la información, una vez tomada la decisión política de ponerla a disposición de los actores sociales, otros relacionados con el aprendizaje de las herramientas necesarias para su uso, otros con la propia adaptación de los técnicos a estas herramientas, influyen en gran medida en su aplicación.

A título de ejemplo podría ser de interés que la información obligatoria sobre estadísticas agrarias que es responsabilidad de las Comunidades Autónomas incorporara mapas mostrando la distribución espacial, al menos de los cultivos de regadío, aún cuando dichos mapas

tuvieran necesidad de incorporar algún grado de agregación en los cultivos a representar. En este sentido es usual el encargo de trabajos puntuales de inventariación de cultivos de regadío, en el que se considera habitualmente la teledetección y fotografía aérea.

Un paso adelante necesario consistiría en convertir este tipo de trabajos puntuales o esporádicos en unas tareas permanentes, de tal forma que se acreciente la calidad y cantidad de la información, así como su disponibilidad “en tiempo real”. Será necesario estandarizar procedimientos para el seguimiento e integración de la información procedente de diferentes fuentes (vuelos, satélite, catastro, SIGPAC, administración,...). Las TIC posibilitarían compartir esta información entre diferentes administraciones y usuarios, y hacerla transparente con diferentes grados de acceso. Una experiencia que ha demostrado la potencialidad de esta forma de trabajar se ha desarrollado en el acuífero 08-29 de la Mancha Oriental, en la Cuenca del Júcar.

Así, un acuerdo administración-regantes (Convenio entre la Confederación Hidrográfica del Júcar, (CHJ, 50%), el Gobierno Regional de Castilla La Mancha (JCCM, 30%), Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRM, 20%) y Universidad de Castilla La Mancha) ha posibilitado el denominado modelo de seguimiento mediante teledetección del acuífero Mancha Oriental, (CALERA, et al., 2007) en el que pueden resaltarse las siguientes características

- Desde 1998 se genera información base anual en forma de mapas mostrando la distribución espacial sobre cultivos y superficies regadas distribuidas en una superficie de aproximadamente 1 millón de hectáreas. La serie histórica analizada arranca desde 1982; en la actualidad se utiliza para obtener el mapa de cultivos de regadío una secuencia multitemporal de imágenes, de alrededor de 12-14 imágenes por año distribuidas a lo largo de la estación de crecimiento. Los mapas anuales se colocan en la página web de la CHJ. Resultados agregados de las superficies en regadío (herbáceos) desde el año 1982 se muestra en la Figura 1.

- Se comparte dicha información base por administraciones y regantes CHJ-JCCM-JCRM, utilizando cada uno de ellos dicha información para sus propios fines y competencias. El aspecto que ha mostrado mayor productividad es el hecho de compartir la información base, lo que es un elemento crucial en la resolución de conflictos.

- Se ha generado una técnica de “Inspección Asistida por Satélite”. La información desde el satélite, obtenida en tiempo real, permite contrastar lo que está apareciendo en superficie con el Plan de Explotación que previamente han declarado los agricultores, y hacer así más eficaz el trabajo de campo.

- En el transcurso de los últimos años se ha producido la regularización de los derechos de riego (FERRER y GULLÓN, 1984), situándose el acuerdo administración-regantes alrededor del 95%. Estos derechos hacen referencia a los regadíos anteriores a 1986 y posteriores a dicha fecha, salvando así una situación de alegalidad.

- Desarrollo y utilización por los técnicos de una herramienta denominada Aquastar-ERMOT que permite visualizar “en línea” la evolución temporal de una determinada parcela y cultivo a lo largo de una estación de crecimiento, y acumular esta información en años sucesivos. Un ejemplo de esta herramienta, a la que solamente pueden acceder las entidades autorizadas, se muestra en la Figura 2.

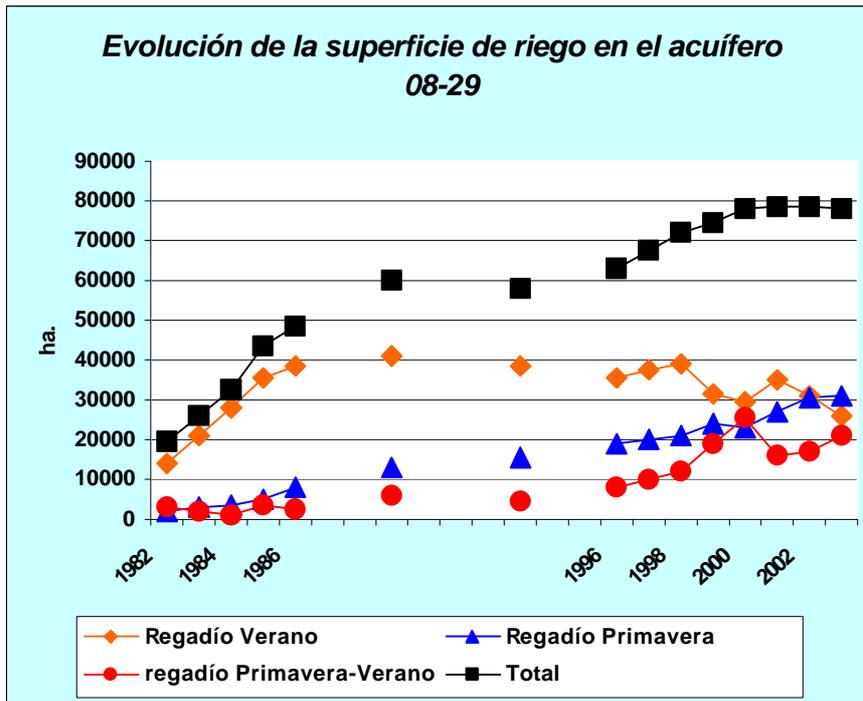


Figura 1. Evolución de la superficie en riego (cultivos herbáceos) identificada mediante teledetección en el acuífero 08-29, separada en clases según sus necesidades hídricas de riego.

### La mejora de la eficiencia en el uso del agua en la agricultura

El concepto actual de modernización de regadíos es más amplio y fundamental que el de hace un par de décadas, que se reducía prácticamente a la introducción de nuevas infraestructuras y equipos, y hace referencia a todo un sistema que permite aplicar las dosis de agua adecuadas para conseguir la mayor eficiencia. Este sistema incluye, además de las infraestructuras y equipos, la generación de información acerca de la cantidad de agua óptima y su transmisión y retorno a y desde el agricultor.

Los Servicios de Asesoramiento de Riego (SAR), ligados estrechamente a los regantes, son las estructuras que, no sin dificultades, se van lentamente consolidando en este relativamente nuevo papel (MARTÍN DE SANTA OLALLA, et al., 1999). Por ello los SAR son uno de los más importantes instrumentos de gestión para conseguir una mejor eficiencia en el uso del agua para riego.

La metodología actual que utilizan los SAR está basada en las recomendaciones realizadas por FAO (Food and Agriculture Organization), según la denominada “metodología  $K_c-ET_0$ ”, donde  $K_c$  es el coeficiente de cultivo y  $ET_0$  la evapotranspiración de referencia (ALLEN, et al., 1998, 2006). Asimismo los SAR abordan de múltiples formas la transmisión de la información de forma práctica y útil al usuario final, el agricultor.

La tarea del SAR suele ser costosa en recursos humanos y materiales por la necesidad de un seguimiento intensivo en campo en áreas extensas y se suele enfrentar al reto de transferir la información al usuario, agricultor o técnico, en la vía adecuada y en el momento oportuno. En los SAR más desarrollados la componente de distribución tiene un fuerte peso, y utiliza tanto medios impresos (hojas divulgativas, periódicos, etc.) como acceso telefónico e internet (como ejemplo véase la página <http://www.itap.es> y MONTORO y LÓPEZ FUSTER, 2006).

Parece natural que las tecnologías de Observación de la Tierra mediante sensores a bordo de satélites, sean las adecuadas para hacer más eficaz el seguimiento en campo, ya que proporcionan imágenes de la superficie terrestre a intervalos regulares. Asimismo, las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, TIC, pueden permitir que la información generada por el SAR pueda llegar al usuario de forma más rápida, fluida y personalizada. La introducción de estas nuevas tecnologías, basadas en internet y telefonía móvil, puede además generar valor añadido al introducir oportunidades de empleo de alto valor en entornos rurales.

### **El Servicio de Asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite (e-SARAS®)**

El diagrama de flujo de las Figuras 2 y 3 muestra esquemáticamente la solución adoptada para la integración de la información derivada de las imágenes de satélite en el funcionamiento del SAR actual, para dar lugar a lo que se ha denominado *Servicio de Asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite (e-SARAS®)*, concepto y sistema desarrollados en el proyecto europeo DEMETER (DEMETER, 2002; CALERA, et al., 2005; OSANN JOCHUM, et al., 2006). Dicha integración se realiza estimando desde las imágenes el coeficiente de cultivo.

Varios procedimientos pueden ser utilizados para obtener el coeficiente de cultivo desde las imágenes, bien directamente mediante los denominados Índices de Vegetación (CALERA y MARTÍN DE SANTA OLALLA, 2005), o bien utilizando modelos de balance de energía (TASUMI y ALLEN, 2007); dado el carácter operativo que ha de tener el sistema, ya que la información ha de estar disponible en el plazo mas breve posible, la solución elegida ha sido obtener el coeficiente de cultivo desde los Índices de Vegetación (CUESTA, et al., 2005). Finalmente, el producto del mapa de coeficiente de cultivo por el mapa de evapotranspiración de referencia proporciona el mapa de necesidades hídricas de cultivo en el período seleccionado. En nuestro caso la  $ET_0$  se obtiene de las estaciones agrometeorológicas.

Además, la imagen adquirida por el satélite puede mostrarse de forma semejante a una “fotografía” del cultivo en el instante de su adquisición, aportando información de gran importancia sobre las características de la distribución espacial del vigor de dicho cultivo. Esta información gráfica, junto con la información numérica a la que previamente nos hemos referido, es el núcleo del producto generado desde la imagen del satélite y puede ser trasladada hasta el usuario final.

Un sistema operativo que integra la información derivada del satélite junto con la información de campo ha sido desarrollado, basado en el proyecto DEMETER (2002), y está siendo operado por el Servicio de Asesoramiento de Riegos del Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP) de Albacete (MONTORO y LÓPEZ FUSTER, 2006) a lo largo de las últimas campañas de riego. En la actualidad se está implementando un sistema similar en combinación con el Centro Operativo e de Tecnología del Regadío (COTR) portugués para la zona de Alqueva en el marco del proyecto aguaSTAR-Alqueva.

La aplicación informática tiene una arquitectura cliente-servidor y posee las características de “software libre”. Se incorporan controles de calidad en dicho procesado y en la validación del producto mediante el contraste del coeficiente de cultivo derivado del satélite con el obtenido del trabajo de campo en las parcelas de seguimiento.

El sistema e-SARAS® así construido permite consultar la información “en línea” accediendo directamente al servidor. Para ello es posible asignar al titular de la explotación o

al responsable técnico de la Unidad de Gestión Hídrica acceso a la información de la zona en cuestión, mediante el código correspondiente.

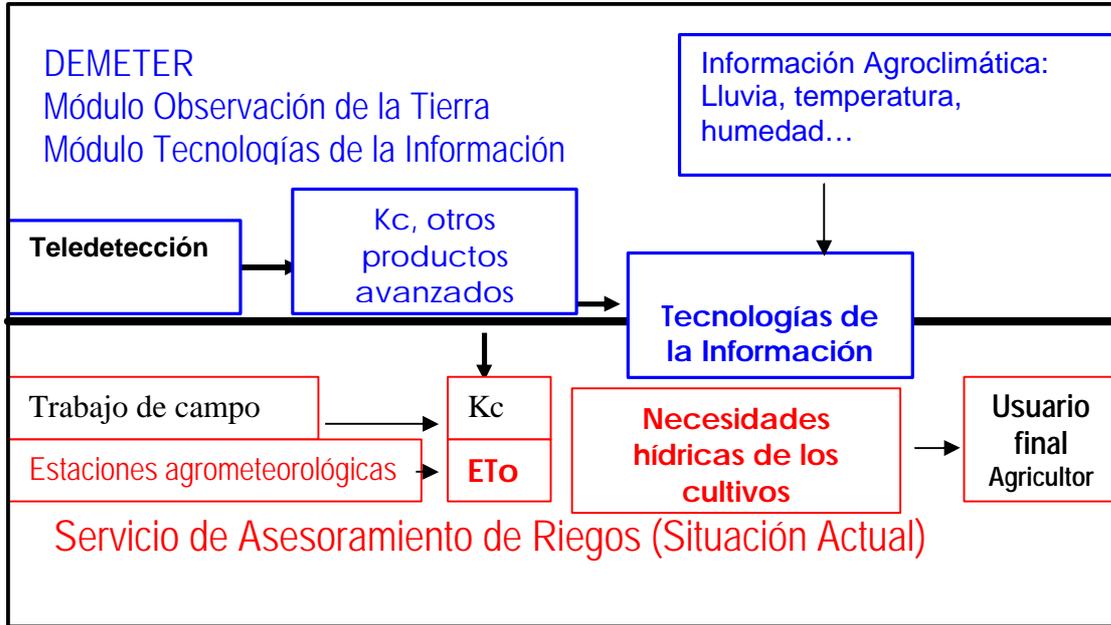


Figura 2. Inserción de las Tecnologías de Observación de la Tierra y Tecnologías de la Información en los Servicios de Asesoramiento de Riegos (de CALERA, et al. 2005).



Figura 3.- Diagrama esquemático del funcionamiento del Servicio de asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite, e-SARAS®.

Un ejemplo de la información que se proporciona se muestra en la Figura 4. A dicha información se puede acceder asimismo mediante un teléfono móvil con prestaciones suficientes para ello mediante una aplicación desarrollada específicamente para este fin, tal y como se muestra en la Figura 5. Asimismo el sistema permite generar informes de manera cuasi-automática, informes que pueden adaptarse a las necesidades de los usuarios.

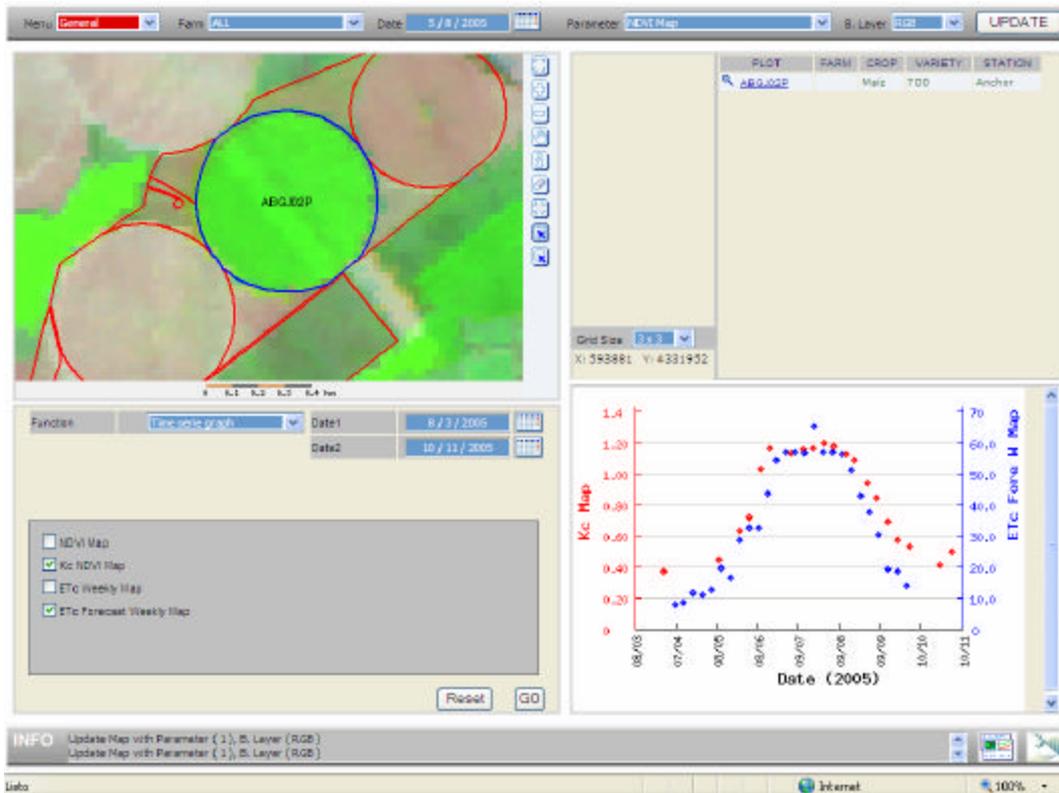


Figura 4.- Información visual y numérica que proporciona el sistema e-SARAS<sup>®</sup>. Remarcada en azul, una parcela de maíz que presenta diferencias entre unas zonas y otras; en la gráfica, la evolución del coeficiente de cultivo derivado de las imágenes de satélite para esa parcela y las necesidades hídricas semanales derivadas de dicha información



Figura 5.- Acceso a la información generada por el sistema e-SARAS<sup>®</sup> mediante teléfono móvil, tanto información gráfica como numérica, en similar forma a la que se puede acceder mediante internet.

Las limitaciones técnicas del sistema se encuentran principal y paradójicamente en la capacidad de los satélites actuales en suministrar imágenes en el momento y frecuencia adecuados. Otras limitaciones se encuentran en la accesibilidad del usuario final a la información generada por e-SARAS<sup>®</sup>, bien por limitaciones en la implantación de conexión de Internet de “banda ancha” o bien por aquellas derivadas de la capacidad de hacer uso de estas tecnologías para personas no habituadas a ella. En el aprendizaje van a intervenir de forma relevante factores sociales y culturales, además de los técnicos, por lo que es necesario diseñar estrategias que faciliten dicho aprendizaje. Una de estas estrategias pasa por implicar en la cadena de difusión y uso de la información a diversos escalones, como cooperativas, comunidades de regantes o centros comarcales, donde es usual la presencia de técnicos que pueden jugar un importante papel en esta transmisión.

Es de resaltar que la utilización de las nuevas tecnologías puede aportar al sector agrario en este campo una componente de empleo de alto valor añadido. También es de notar que los problemas de la difusión y uso son bastante semejantes a los que en la actualidad tienen que resolver los SAR en estos aspectos. Podría suceder que la componente gráfica asociada a la imagen del cultivo, la personalización sobre la parcela y la utilización de nuevas tecnologías fuera parte de la solución al reto de conseguir la difusión y uso masivos, más que ser una parte del problema. En todo caso, sólo la acumulación de experiencia podrá responder a estas cuestiones.

### **La estimación del volumen de agua para riego utilizada**

El sistema tradicional para medir y controlar el agua utilizada es colocar caudalímetros o contadores volumétricos en cada punto origen de agua. Es una medida clásica ampliamente utilizada cuando la distribución se efectúa desde embalses a través de una red de canales y que empieza a generalizarse también en los sistemas de explotación de aguas subterráneas y mixtos subterráneas-superficiales, con la dificultad añadida de no sólo su instalación en decenas de miles de pozos, sino también en su manejo y seguimiento, teniendo en cuenta que los pozos se encuentran en el interior de propiedades privadas a la que ha de accederse con permiso del propietario, de forma bien diferente al caso de embalses y distribución en canales con aguas superficiales.

Un ejemplo sobre la implantación de caudalímetros en sistemas de explotación de aguas subterráneas fue el caso de la Cuenca Alta del Guadiana. Con el objetivo de vigilar y controlar las extracciones de agua subterránea en los acuíferos declarados sobreexplotados de la Mancha Occidental y del Campo de Montiel, la administración hidráulica realizó una inversión de más 6,5 millones de € durante el periodo 1994-1996, para la instalación de una red de 4.820 caudalímetros en pozos (DÍAZ-MORA, 1999). Una vez instalados los contadores fue necesario afrontar el problema del mantenimiento, conservación y medición de dichos aparatos. La valoración económica de estos aspectos es aún difícil de valorar. En las conclusiones se reconoce que “es muy difícil, si no imposible, que la administración hidráulica pueda gestionar un sistema de medición directa mediante contadores”. El coste total de implantación de los caudalímetros recogido en la memoria “definitiva” del Plan del Alto Guadiana asciende a una inversión de 100 M€ con un coste de mantenimiento y vigilancia de 6,5 M€año.

Además, esta metodología carece, obviamente, de la propiedad de obtener datos sobre la evolución de las extracciones en periodos anteriores a la puesta en marcha de los contadores

lo cual dificulta la objetividad de la regularización de los derechos de riego. Otros métodos alternativos y/o complementarios como el análisis del consumo eléctrico no son considerados aquí. Sin embargo la aplicación de todos ellos requiere del uso de herramientas SIG, así como resolver el acceso a la información en condiciones y tiempo adecuados.

El uso de la teledetección y los SIG proporciona un método complementario y/o alternativo al de los caudalímetros. El método se basa en el procedimiento clásico que consiste en asignar unas necesidades hídricas para riego a cada cultivo en función de la precipitación, demanda atmosférica y sistema de riego a lo largo de su ciclo de crecimiento.

Evidentemente, si se dispone del mapa de cultivos en una determinada área en el que se muestren las superficies regadas, podemos asignar a cada cultivo sus necesidades hídricas para riego y estimar así los requerimientos a diferentes escalas espaciales, todo ello mediante operaciones de agregación espacial típicas de herramientas SIG. La disponibilidad de un mapa con tan alto detalle es difícil, pero es bastante usual que la clasificación mediante imágenes de satélite proporcione un mapa con grupos de cultivos que tienen una evolución temporal semejante. Al tener una semejante evolución temporal, a cada una de estas clases se puede asignar unas necesidades hídricas para riego (MARTÍN DE SANTA OLALLA, et al., 2003). De esta forma podemos conocer en una primera aproximación la estimación de consumos de agua, y agregar espacialmente a tamaño de parcela, explotación agrícola, zona regable, masa de agua subterránea y cuenca hidrográfica. Para ello es necesario disponer de los mapas que delimiten cada una de las escalas espaciales en las que se va a proceder a la agregación.

Esta metodología se viene aplicando rutinariamente por la CHJ y JCRMO en el acuífero Mancha Oriental para el seguimiento del Plan de Explotación del Acuífero. En dicho ámbito espacial se han establecido alrededor de 1400 unidades de gestión hídrica (UGH), definidas como el conjunto de parcelas que usan agua en común, procedente de un solo o de varios pozos. Algunas de estas UGH son de pocas hectáreas y/o de un solo propietario y otras alcanzan cientos de parcelas y de propietarios. Los mapas de clasificación de cultivos son uno de los objetivos principales del convenio ERMOT mencionado anteriormente, y pueden ser consultados interactivamente en una aplicación informática, Aquastar-ERMOT, <http://161.67.10.59/ERMOT/>, diseñada a tal fin.

En todo caso, los regantes, y en este caso la JCRMO del acuífero, fijan en el Plan de Explotación Anual el volumen por hectárea autorizado, y en cada UGH se ha de realizar la programación y siembra de cultivos y superficie de cada uno de ellos adecuada para no superar el volumen promedio asignado. El seguimiento del Plan de Explotación requiere integrar los mapas digitales de superficies en regadío con la delimitación espacial de las UGH, para que mediante herramientas SIG de análisis espacial estimar el volumen promedio consumido por Unidad de Gestión Hídrica y compararlo con el autorizado. En los mapas de superficies en regadío se agrupan los cultivos herbáceos en tres clases, Regadíos de Primavera, Regadíos de Verano, y regadíos de Primavera-Verano o Permanentes, asignando a cada una de las clases unas necesidades hídricas de riego; los mapas incorporan también información sobre cultivos leñosos desde otras fuentes a través del catastro, trabajo de campo, etc, asignándoles otra dotación hídrica.

La verificación del Plan de Explotación es posible mediante la combinación de estas tecnologías; además la operación del sistema se realiza en tiempo real, para conseguir que la inspección y Jurado de Riego actúen con la mayor información y transparencia posible, incorporando en sus actuaciones información obtenida mediante satélite.

La Teledetección posibilita aún otra metodología más directa para acercarnos a las estimaciones de agua utilizada, la misma que la mencionada previamente cuando se describía el modelo de Servicio de Asesoramiento de Riego Asistido por Satélite. Se basa en la capacidad de obtener la evolución del coeficiente de cultivo de una determinada cubierta vegetal desde la secuencia de imágenes de satélite; combinando esta información con la demanda evaporativa de la atmósfera,  $ET_0$ , que se obtiene de las estaciones en tierra agrometeorológicas, permite estimar la evapotranspiración requerida por el cultivo regado a lo largo del ciclo de crecimiento, que serán las necesidades hídricas totales; si se descuenta la denominada precipitación efectiva, obtendremos las necesidades hídricas de riego. Un ejemplo de este cálculo se muestra en la Figura 6 en la que se muestran las necesidades hídricas totales,  $ET_c$ , semanales. La integral a lo largo de la curva proporciona el valor acumulado de necesidades hídricas a lo largo del ciclo de crecimiento.

La consistencia y robustez de este procedimiento ha sido objeto de estudio por numerosos autores entre los que destacan trabajos de BASSTIANSSEN, 2000; CASTAÑO, et al., 1999 y 2007; MARTÍN DE SANTA OLALLA, et al., 2003; TASUMI y ALLEN, 2007. La limitación operativa de su aplicación es la disponibilidad de una adecuada secuencia de imágenes en el ciclo de crecimiento, tanto en frecuencia como en resolución espacial.

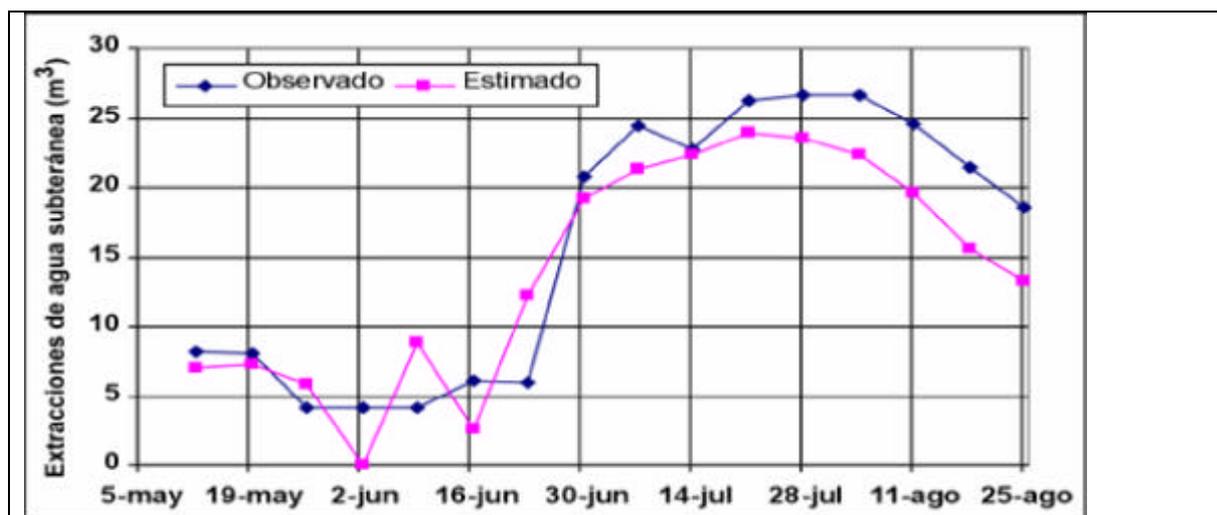


Figura 6. Consumo de agua subterránea observado mediante caudalímetro y estimado por teledetección en una parcela experimental de regadío de verano, p.ej. maíz (40,7 ha). Año 2006. Tomada de CASTAÑO, et. al (2007).

## Costes

En los casos analizados, la combinación de herramientas basadas en teledetección, SIG y TIC permite compartir la información los actores sociales involucrados y hacer más eficaz la inspección y el control en campo. La metodología descrita permitiría la estimación de las necesidades hídricas a la escala de pixel y, bien mediante herramientas SIG clásicas o bien utilizando herramientas SIG “en línea” obtener la acumulación temporal a lo largo del ciclo de crecimiento; asimismo permitiría la agregación espacial a la escala de parcela, UGH, zona regable y cuenca hidrográfica, siempre sujeta dicha acumulación a la disponibilidad de la

información para hacerlo. La Figura 7 trata de mostrar de forma gráfica el tipo de información que se puede proporcionar, haciendo hincapié en la Unidad de Gestión Hídrica.

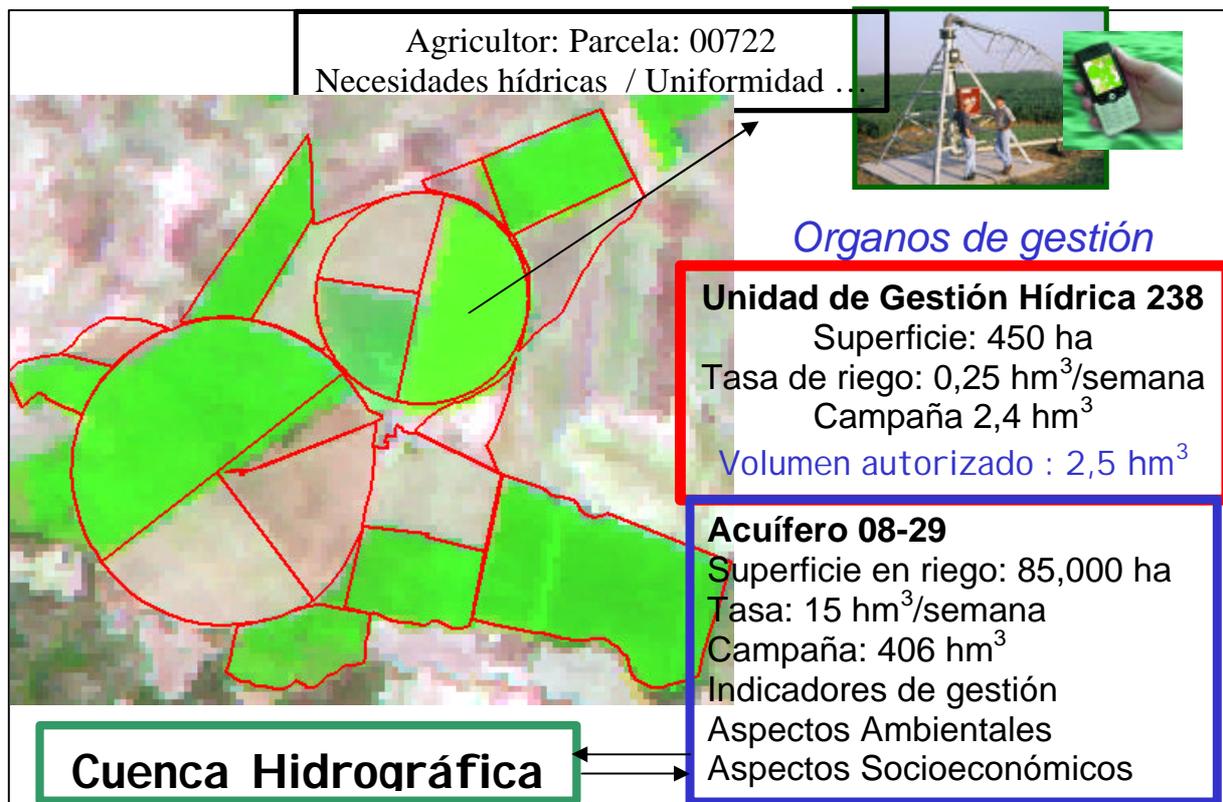


Figura 7.- Datos que el sistema combinado SIG-Teledetección-Tecnologías de la Información y Comunicación podría suministrar. El acceso a la información puede establecerse con los requisitos necesarios para proteger los aspectos que la política de datos establezca.

Las herramientas SIG “en línea” tratarían de ofrecer algunas funcionalidades típicas de un SIG, que permitan obtener los productos necesarios para los gestores a través de internet, sin necesidad por tanto de utilizar un software específico. Un intento de desarrollo de este tipo de herramientas se está realizando en el proyecto PLEIADeS (2006), en el que se integran además de una mejora en la eficiencia del uso del agua, otros aspectos relacionados con la gestión del agua como los aspectos económicos medioambientales y sociales, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones en una gestión integrada de los recursos hídricos.

Un elemento central en la aplicación de las tecnologías es el coste. En base a las experiencias anteriormente señaladas se han hecho estimaciones del presupuesto necesario. Así se puede estimar un coste tipo por campaña anual de alrededor de 150.000 € para una zona de un tamaño típico de 150 km x150 km. El presupuesto contemplado en la memoria “definitiva” del Plan del Alto Guadiana establece un presupuesto para el seguimiento anual mediante teledetección hasta el año 2027 de 200.000 €por año.

En el coste de 150.000 €se contemplan: (a) Equipos informáticos, esto es la adquisición e instalación de servidor y sobre él, la instalación de la aplicación informática que constituye la plataforma para montar el SIG “en línea, incluida su adaptación a las necesidades de los usuarios y gestores del área a observar, (b) la adquisición de imágenes de satélite, en la que

una imagen por semana se considera el ritmo idóneo (mediante una constelación virtual de Landsat, IRS y SPOT) (c) coste de personal para el procesado de imágenes, generación de productos, seguimiento del sistema y control de calidad y (d) formación para el personal al cargo del sistema y (e) desarrollo de mecanismos que faciliten la comprensión y el uso de la información que reciben los agricultores y/o técnicos, además de los actores sociales. Es evidente que sobre este presupuesto pueden considerarse importantes ahorros si se dispone de alguno de los elementos constitutivos del mismo.

En todo caso, las cifras de coste de instalación mencionadas son muy pequeñas, cuasi despreciables, en comparación con los restantes elementos que se contemplan usualmente en la modernización de regadíos, en el que una sola hectárea de regadíos puede implicar una inversión de alrededor de 9.000 € sin contar las inversiones de canales y obras principales. Pero además resultan de un orden de magnitud menor que sólo el seguimiento y mantenimiento de caudalímetros, sin contar con la inversión para la instalación de dichos instrumentos (100 M€ en el Plan Nacional del Alto Guadiana). A tenor de las cifras expuestas parecería razonable sugerir que cualquier modernización de regadíos tuviera que llevar aparejada la instalación de un sistema basado en la aplicación de las nuevas tecnologías descritas, que permitiera una gestión más eficaz en los diferentes ámbitos espaciales y temporales.

## **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

La gestión del agua en la agricultura se enfrenta a numerosos retos y desafíos en diferentes ámbitos, sectores y escalas, que se incrementan en el caso de la utilización intensiva de aguas subterráneas, en el que los principios de regulación clásica de embalses y canales superficiales no son aplicables.

Una de las características esenciales de un sistema eficaz y duradero de gestión colectiva de un recurso común es la existencia de una estructura adecuada de vigilancia y control de las extracciones, lo que requiere instrumentos que sean capaces de establecer una potente ordenación, regulación y control del uso del agua. Se acepta unánimemente que este requisito ha de ser previo tanto a políticas tradicionales de una mayor oferta del recurso bien sea desde desaladoras y/o desde trasvases, como a otras políticas restrictivas que pudieran adoptarse. La experiencia repetida indica que sin ordenación y control, la política de oferta se traduce en que se amplifica nuevamente la demanda de forma descontrolada, y la política de restricciones desata “insumisión hidrológica”.

Además, también es necesario un sistema de sanciones diferenciadas y graduadas, que sean entendidas por l@s usuari@s y percibidas como justas. Para ello una característica emergente de la gestión de recursos hídricos es que ha de basarse en los principios básicos de participación y transparencia para tener en cuenta los múltiples aspectos territoriales, técnicos, económicos, medioambientales, sociales y políticos que se han mencionado en el diagnóstico y que se permita así la cooperación de l@s diferentes actores sociales involucrad@s.

La participación requiere que tanto las administraciones como l@s regantes y el resto de actores sociales han de compartir una adecuada, buena y actualizada información base acerca de las superficies regadas y del origen del agua. Asimismo han de coparticipar en la toma de decisiones, estableciendo el acceso a dicha información de forma transparente a otr@s agentes o actores sociales. La transparencia ha de darse dentro de un territorio, pero también de unos

territorios con otros dentro de una misma cuenca hidrográfica, y de unas cuencas con otras. Dicha transparencia tendría que tener mecanismos para ser verificable y generaría confianza y seguridad, además de poner las bases para la resolución de conflictos por acuerdo.

Las tecnologías de observación de la Tierra han alcanzado el punto de madurez y desarrollo en la generación de productos que hace posible plantearnos su integración con los Sistemas de Información Geográfica y Tecnologías de Información y Comunicación para constituir herramientas que ayuden a la resolución de los mencionados retos de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Las experiencias descritas en este trabajo muestran la aplicación operacional de estas herramientas en la detección de las superficies regadas, en la estimación de los consumos hídricos y en la aplicación en los Servicios de Asesoramiento de Riego, tres aspectos esenciales en la gestión del agua y en el incremento en la eficiencia en su uso. Asimismo, se muestran como poderosas herramientas que facilitan la participación y la transparencia, al permitir compartir la información de manera interactiva, facilitando la toma de decisiones y la prevención y resolución de conflictos. Para ello se muestra extraordinariamente útil el uso de plataformas basadas en Internet, sobre las que se implementan tecnologías denominadas SIG “en línea” que permiten el acceso a la información espacial sobre superficies regadas y consumos hídricos en diferentes ámbitos espaciales y escalas temporales, con los criterios y restricciones que la política de datos acuerde.

El coste de instalación de estas nuevas tecnologías es muy pequeño, prácticamente despreciable, si se lo compara con los costes de producción agraria, incluso con los costes del agua y de energía, así como con los costes de modernización de regadíos o simplemente con los costes de mantenimiento, sin considerar siquiera la inversión, de sistemas clásicos de control como los caudalímetros.

Hasta ahora el argumento para la demora en la aplicación de estas nuevas tecnologías era su característica de experimentales. El carácter operacional de las experiencias descritas muestra la madurez y desarrollo alcanzados, con lo cual la aplicación está lista y requiere de una decisión que ha de ir acompañada por un proceso de aprendizaje y familiaridad con los productos y los canales de comunicación para l@s diferentes actores sociales, técnicos y gestores. En ese sentido, el impulso general que la sociedad de la información está recibiendo en todos los ámbitos rema en la dirección de la incorporación de estas tecnologías para la gestión participativa y transparente de los recursos hídricos.

## **Agradecimientos**

Las experiencias que se describen han sido adquiridas en el transcurso de una serie de proyectos en el que l@s autores hemos estado involucrad@s, junto con otros equipos, usuari@s y actores sociales, formando un numeroso equipo interdisciplinar. Entre otros proyectos, destacan ERMOT, financiado por los usuarios, los del plan nacional español de Ciencia y Tecnología GESMO, MORE, [www.hidromore.es](http://www.hidromore.es), y TeSoRo, el proyecto del plan nacional portugués Alqueva-Aquastar, el proyecto europeo DEMETER (2002), [www.demeter-ec.net](http://www.demeter-ec.net), en las zonas piloto de Italia, Portugal y España que continúa y amplía su desarrollo en el nuevo proyecto europeo PLEIADeS (2006), [www.pleiades.es](http://www.pleiades.es), con zonas piloto del Sur de Europa, España, Portugal, Italia y Grecia, países mediterráneos como Turquía y Marruecos, y países latinoamericanos como México, Brasil y Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBIAC, J.; MARTINEZ, Y. & XABADÍA, A. (2007). *El Desafío en la Gestión de los Recursos Hídricos*. Revista de Economía Aplicada (en prensa).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH M. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO-56. (versión original en inglés: 1998)
- BASTIAANSEN, W.G.M.; MOLDEN, D. & MAKIN, IW. (2000). *Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications*. Agricultural Water Management. 46, 137-155.
- CALERA, A. & MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. (2005). *Uso de la Teledetección en el Seguimiento de los Cultivos de Regadío*. Cap. XIV en: Santa Olalla, López y Calera, (Ed.) "Agua y Agronomía". Mundiprensa.
- CALERA, A.; JOCHUM, A.; CUESTA, A.; MONTORO, A. & LÓPEZ FUSTER, P. (2005). *Irrigation management from space: Towards user-friendly products*. Irrigation and Drainage Systems, 19; 337-354.
- CALERA, A.; BELMONTE, M. & ARELLANO, I. (2007). *Estudio de la Evolución de Regadíos en el acuífero Mancha Oriental mediante Teledetección*. Confederación Hidrográfica del Júcar, Consejería de Agricultura de Castilla La Mancha; Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental. Informe Interno. pp:124.
- CASTAÑO, S. (1999). *Aplicaciones de la Teledetección y SIG al control y cuantificación de las extracciones de agua subterránea. Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*. Eds. Ballester, J.A., Fernández, J.A. and Geta, L. IGME. p. 125-141.
- CASTAÑO, S., GÓMEZ-ALDAY, J.J. & SANZ, D. (2007). *Validación de la teledetección para la cuantificación de las extracciones de aguas subterráneas*. XII Congreso AET.
- CUESTA, A.; MONTORO, A.; JOCHUM, A.; LÓPEZ, P. & CALERA, A. (2005). *Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite*. ITEA, 101, N°3, 212-224.
- DEMETER (2002). *Demonstration of Earth observation Technologies in Routine irrigation advisory services*. V Framework Programme, European Commission [www.demeter-ec.net](http://www.demeter-ec.net).
- DÍAZ-MORA, J. (1999). *Experiencia de la instalación de contadores en los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana*. In: A. Ballester Rodríguez, J.A. Fernández Sánchez, J.A. y López Geta (Eds.). *Medida y Evaluación de las Extracciones de Agua Subterránea. Síntesis y Conclusiones*. Madrid. pp. 141-160.
- FERRER, J. & GULLÓN, N. (2004). *Actuaciones de gestión y regularización administrativa en el acuífero de Mancha oriental*, Comunicación presentada al VIII Simposio de Hidrogeología de la Asociación Española de Hidrogeología, Zaragoza.
- LLAMAS, R. (2006). *Los nuevos paradigmas en la política del agua y el uso de la energía*. Intern. Conf. On Renewable Energies and Water Technology. Almería, Spain, October. Cierta 2006. pp:1-16.
- LLAMAS, M.R. & MARTINEZ-SANTOS, P. (2005). *Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential Source of social Conflicts*. Journal of Water Resources Planning and Management. American Society of Civil Engineers. September/October 2005, pp. 337-341.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, R. (2003). *Intensive use of Groundwater: Introductory Considerations*, in *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*". Llamas and Custodio (ed.) Balkema. Publishers. Dordrecht, pp:3-12.
- LÓPEZ GUNN, E. & HERNÁNDEZ-MORA, N. (2001). *La gestión colectiva de las aguas subterráneas en la Mancha: análisis comparativo*. In: La economía del agua subterránea y su gestión económica. Eds. Hernández-Mora, N. y Llamas, R. Fundación Marcelino Botín. 405-475 pp.

- MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; BRASA RAMOS, A.; FABEIRO CORTÉS, C.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, D. & LÓPEZ CÓRCOLES, H. (1999). *Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha, Spain*, *Agricultural Water Management*, 40, 195-206.
- MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; CALERA, A. & DOMÍNGUEZ, A. (2003).: *Monitoring irrigation water use by combining Irrigation Advisory Service, and remotely sensed data with geographic information system*. *Agricultural Water Management*, 61, 111-124.
- MONTORO, A. & LÓPEZ FUSTER, P. (2005). *Los Servicios de Asesoramiento de Riegos: el ejemplo del SAR de Albacete*. En Santa Olalla, López y Calera, (Ed.): *Agua y Agronomía*. Ed. Mundi-Prensa, Spain.
- OSANN JOCHUM, M.A.; CALERA BELMONTE, A. & all DEMETER partners (2006). *Operational Space-Assisted Irrigation Advisory Services: Overview Of And Lessons Learned From The Project DEMETER*. In D'Urso, Moreno, Osann Jochum (Eds.): "Earth Observation for vegetation monitoring and water management", American Institute of Physics, 3-12.
- OSTROM, E. (1992). *Crafting institutions for self-governing irrigations systems*. ICS press, California.
- SHAH, T. (2005). *Groundwater and Human Development: Challenges and Opportunities in Livelihood and Environment*, *Water Science and Technology*, 8, 27-37.
- PLEIADeS (2006). *Participatory multi-Level EO-assisted tools for Irrigation water management and Agricultural Decision-Support*. VI Framework Programme, European Commission. [www.pleiades.es](http://www.pleiades.es).
- TASUMI, M. & ALLEN, R.G. (2007). *Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development*. *Agricultural Water Management*, 88, 54-62.