

Arquitectura Software Basada en Tecnologías Smart para Agricultura de Precisión

Miguel Sánchez¹, Manuel Barrena¹, Pablo Bustos², Carlos Campillo³, Pablo García¹

¹ Dpto. Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos

² Dpto. Tecnología de Computadores y de las Comunicaciones
Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, C/Avda. de la Universidad, s/n. 10003
Cáceres, España

³ Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX)

{mscabrera, barrena, pbustos, pablogr}@unex.es
carlos.campillo@gobex.es

Resumen. Este artículo describe la arquitectura de un sistema de información en el contexto de la agricultura de precisión. Una red de sensores instalados sobre las zonas de cultivo se encarga de monitorizar las variables que finalmente alimentan el modelo de riego y fertilización implementado. Las mediciones obtenidas se almacenan de manera autónoma y continua sobre una base de datos MongoDB, cuyo diseño prevé la variabilidad espacio-temporal de los diversos componentes de la aplicación (zonas, cultivos, sectores de irrigación, etc.). Datos obtenidos de otras fuentes, tales como servicios meteorológicos o análisis de suelo completan el modelo, cuyo objetivo final es el de mejorar la eficiencia en la gestión de la explotación agraria. Los procesos que combinan toda esta información y ponen en marcha el modelo se implantan mediante el uso del framework de edición de flujos Node-RED, con el desarrollo de flujos de datos para establecer la conexión con la red de sensores y servicios meteorológicos y proveer de datos al sistema, consiguiendo al integrar estas tecnologías una infraestructura digital para la explotación rentable de recursos agrarios.

Palabras Clave: Agricultura de Precisión, Sistemas de Información Agrícolas, Tecnologías Smart.

1 Introducción

El grado de robustez que en poco tiempo han alcanzado modernos paradigmas como el Internet de las Cosas, Computación en la Nube, Big Data y en general todas aquellas que suelen agruparse bajo la denominación de tecnologías Smart, ha disparado la presencia y contribución de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) por supuesto en nuestro entorno más inmediato, pero interesantemente también en dominios de aplicación menos visibles para el ciudadano común. El mundo rural y particularmente el sector agrícola es un claro ejemplo donde

la incorporación de estas tecnologías están favoreciendo su evolución hacia una gestión mucho más inteligente y sostenible [1,2,3]. De hecho el término “Agricultura de Precisión” se acuña en este contexto para definir una nueva forma de gestionar las explotaciones agrarias mediante la intervención de una serie de tecnologías de aplicación en la producción agraria, que tienen como factor común el uso de las TIC en la racionalización de la toma de decisiones y su precisa ejecución [4].

En el ámbito de la agricultura de precisión, los medios que posibilitan una gestión más tecnificada de la actividad agrícola incluyen por lo general imágenes de satélite, sensores de medida continua instalados en las parcelas, servicios de meteorología, volcado de datos a distancia, gestión de información vía web o utilización de smartphones como instrumentos de entrada y salida de datos. La combinación de estos elementos proporciona a técnicos y agricultores una oportunidad de mejorar y administrar de forma eficiente una gran cantidad de información disponible, ofreciendo por tanto la oportunidad de optimizar la gestión de estas zonas agrícolas desde un punto de vista agronómico (que afecte de forma directa y beneficiosa a los cultivos), medioambiental (reduciendo el impacto relacionado con las actividades agrícolas) y económico (mejorando el rendimiento de la producción).

Para mejorar la gestión de las explotaciones, la agricultura de precisión atiende por lo general a dos importantes aspectos problemáticos [1,4]. Por una parte la heterogeneidad espacial de las parcelas agrícolas, la cual genera diferencias de desarrollo y producción de los cultivos, a pesar de haber realizado homogéneamente las operaciones de cultivo (laboreo, siembra, riego, abonado, etc.), por otra parte la imprecisión en la realización de las actividades por parte del agricultor, basadas en apreciaciones personales sustentadas por una información habitualmente difusa del estado del cultivo, lo cual provoca con frecuencia un uso desproporcionado de los recursos (agua, fertilizantes, etc.). El tratamiento de la heterogeneidad espacial ha permitido saltar desde las parcelas de ensayo a explotaciones reales [5], donde las circunstancias resultan a priori mucho menos controlables, mientras que la capacidad de disponer de una información precisa sobre el estado de la explotación y los cultivos, permite guiar al agricultor en sus actividades, favoreciendo su planificación y fomentando el equilibrio en el aprovechamiento de recursos y el uso eficiente de los mismos. En la agricultura, el agua es el recurso más importante y su gestión de forma eficiente es uno de los objetivos prioritarios de este sector. Aplicar un sistema eficiente de riego no es tarea sencilla, ya que tanto el riego en exceso como aplicar menos agua de la debida conlleva resultados perjudiciales para el cultivo y también para el rendimiento de la explotación. La agricultura de precisión requiere pues aplicar modelos agronómicos capaces de abordar el problema del riego y las necesidades nutricionales y de crecimiento propias del cultivo que permitan desarrollar un plan de actividades óptimo.

En este artículo se presenta la arquitectura software de un sistema de información que proporciona soporte para el desarrollo de una agricultura de precisión, abordando específicamente los dos aspectos comentados anteriormente, de una parte dando respuesta a la heterogeneidad espacial y proporcionando por otra un modelo de riego y nutrición capaz realizar recomendaciones personalizadas a técnicos, lo cual redundará en una mejora de la gestión de la explotación. El sistema de información reproduce un esquema estándar [2] de monitorización de variables que miden el estado de la parcela. Este proceso de monitorización se lleva a cabo de forma autónoma, mediante

el despliegue de diversos tipos de sondas, estaciones climatológicas y servicios meteorológicos disponibles a los cuales se accede automáticamente. Los valores de estas variables, así como toda la información inherente a la parcela que se monitoriza, se hace persistente en la base de datos que sustenta al sistema de información. En consonancia con recientes aplicaciones de agricultura de precisión [3,6], un sistema de base de datos NoSQL fácilmente escalable y versátil para almacenar datos de estructura heterogénea, se encarga de registrar toda la información que genera la monitorización. Finalmente, un componente central del sistema implementa y ejecuta el modelo que obtiene como salida una planificación de las actividades de riego y fertilización para el agricultor.

Para describir la arquitectura software del sistema, el presente artículo se organiza en tres secciones. La primera de ellas lleva a cabo una descripción de los componentes principales del sistema, poniendo especial énfasis en la estructura de datos capaz de ofrecer soporte a la característica de espacio-temporalidad que presentan estas aplicaciones. Una vez descrita la arquitectura, la siguiente sección aporta algunos detalles sobre el modelo de riego que implementa el sistema y finalmente la última sección presenta como resultado experimental la aplicación de esta arquitectura en un proyecto concreto de aplicación de tecnologías integradas para la explotación rentable de recursos agrarios que ha finalizado recientemente.

2 Descripción del sistema

La arquitectura software del sistema integra el uso de varias tecnologías sobre las que se asienta la estructura general del sistema, tal y como muestra la figura 1:

- Alimentadores: Elementos provenientes de fuentes externas que nutren de información al sistema, tales como sensores y servicios de meteorología.
- Framework de edición de flujos encargado de realizar la conexión autónoma de los alimentadores al sistema, recibir la información que proporcionan, procesarla y almacenarla en la base de datos.
- Base de datos NoSQL encargada de almacenar los datos del sistema.
- Modelo de riego implementado en el sistema y encargado de analizar los diferentes datos extraídos de las fuentes externas y realizar una estimación de horas de riego sobre determinado cultivo.

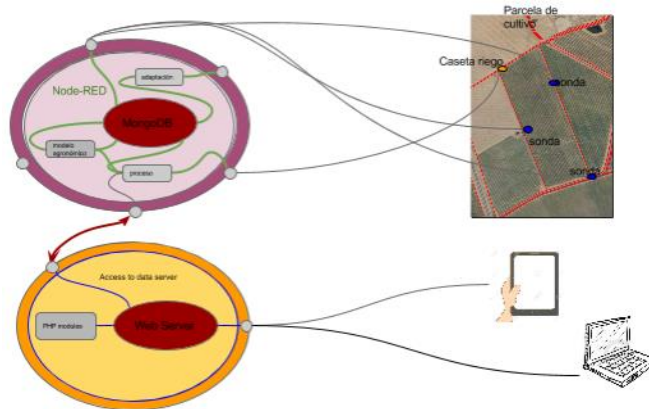


Fig. 1. Esquema de la arquitectura de la plataforma.

2.1 Alimentadores del sistema

Denominamos alimentadores (feeders) a las diferentes fuentes externas que alimentan de información al sistema de manera autónoma y constante. Podemos hablar de dos tipos diferentes de alimentadores de información, la suministrada por tecnologías de sensores y registradores de datos por un lado y por otro lado la ofrecida por los servicios de meteorología. Por un lado, los dataloggers o registradores de datos son colocados en la parcela de cultivo, resultado de un proceso previo de determinación de la zona representativa a partir de información de suelo, cubierta vegetal, mapas de desarrollo de cultivo, etc. Dependiendo del modelo concreto, cada concentrador permite la instalación de varios sensores que, según las necesidades, son elegidos para que suministren los datos necesarios al sistema. La información que envía el datalogger se corresponde con los sensores instalados. Estos sensores que emiten valores de humedad volumétrica del suelo y humedad relativa a diferente profundidad (30cm y 80cm), sensores que miden humedad relativa y temperatura situada en la parte superior de la planta y sensores de humectación de la hoja. Todos estos datos son enviados a la plataforma del datalogger a través de una comunicación GSM mediante un módem interno, como puede observarse en la figura 2.

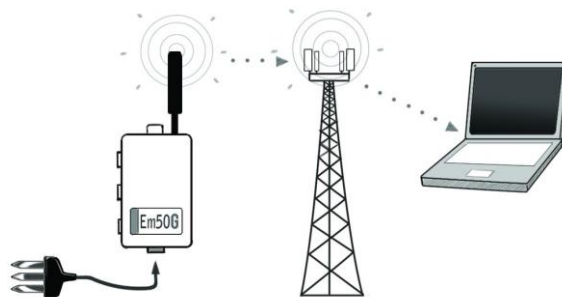


Fig. 2. Esquema de comunicación del datalogger.

Por otro lado, la información relevante para el sistema que provee de datos meteorológicos que afectan a la parcela de cultivo, tales como temperatura y humedad (máxima, mínima y media), velocidad del viento, radiación solar, pluviometría, niveles de evapotranspiración (ET-PM, ET-Rad, ET-BC y ET-H) es proporcionada por las estaciones agrometeorológicas. Si la propia explotación no cuenta con una estación de estas características, el sistema posibilita el acceso a servicios meteorológicos online, tal como las estaciones provenientes de la Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura (Redarex) [7], desde el cual pueden realizarse consultas externas de las variables meteorológicas para las estaciones más cercanas a la parcela que se monitoriza.

Ambas fuentes externas registran los datos de manera autónoma y constante, suministrando al sistema de información heterogénea que permite trabajar y mantener un control tanto a nivel propio del cultivo (estado hídrico del suelo y la planta) mediante los loggers, como a un nivel más externo con las variables meteorológicas.

2.2 Framework de eventos de flujos

Los procesos que se encargan de (1) la extracción de los datos proporcionados por los alimentadores, (2) la transformación de los mismos y (3) su posterior carga en la base de datos son realizados mediante el uso del framework de visualización open-source y creación de flujos Node-RED [8], desarrollada por IBM Emerging Technology, que nos permite realizar una interconexión de los diferentes componentes (dispositivos hardware, APIs, servicios online, etc.) mediante el diseño de flujos de eventos. Está construido en node.js, lo que le da la posibilidad de funcionar justo al borde de la red o en la nube, aportando flexibilidad. Mediante el ecosistema del gestor de paquetes de node (npm) es posible extender de manera sencilla las opciones de nodos disponibles para adaptar según las necesidades de los eventos a desarrollar y las operaciones que quieran realizarse.

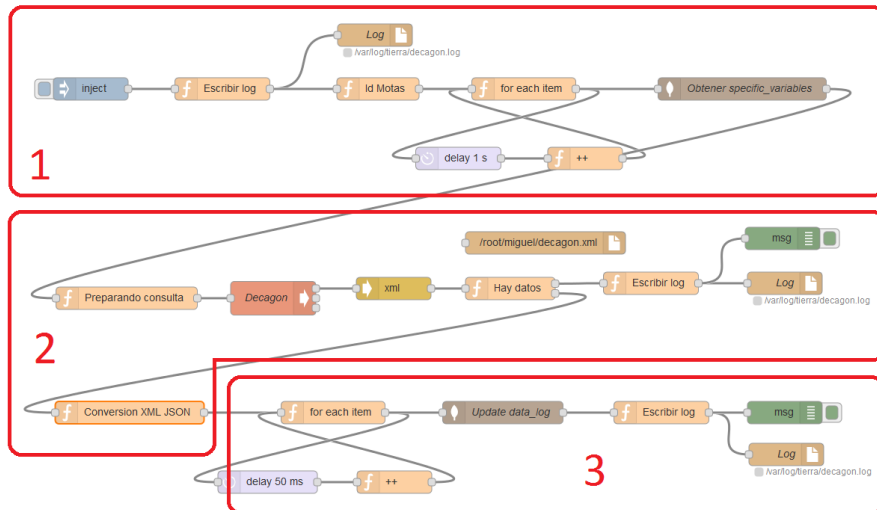


Fig. 3. Estructura del evento de flujo.

En nuestro sistema se han diseñado dos flujos de eventos para tratar de forma precisa las dos fuentes de información que suministran los alimentadores. Por un lado, aquellos datos pertenecientes a las fuentes de sensores instalados en las parcelas de cultivo, como indica la figura 3, y por otro lado, los datos de variables meteorológicas medidos por las estaciones. El diseño del flujo para el primer caso realiza el proceso de conexión a la plataforma a la que se envían los datos de los sensores mediante el uso de credenciales de acceso (disponibles al dar de alta los dataloggers en el sistema tras su instalación en las parcelas de cultivo), de este modo es posible extraer los datos que son enviados de forma continuada. El proceso de transformación de estos datos es una tarea complicada, ya que la información de las variables que miden los sensores viene dada a modo de pulsos, siendo necesario aplicar, en cada caso, fórmulas de conversión a cada uno de los sensores del datalogger para conseguir que dichos datos sean adecuados a la información con la que trabaja el sistema (valores de humedad, temperatura, etc.). Tanto este evento como el relacionado con los datos meteorológicos cargan de forma automática la información a la base de datos consiguiendo que el sistema sea alimentado ininterrumpidamente, lanzando peticiones cada 30 minutos a la plataforma de los sensores para recibir los datos y una vez al final del día para las estaciones de meteorología.

Con el desarrollo de estos eventos de flujo se consigue que el sistema contenga los datos de ambas fuentes de forma autónoma, asegurando la persistencia y disponibilidad de los mismos mediante su replicación en la base de datos.

2.3 Base de datos

Con el fin de conseguir un óptimo almacenamiento y la persistencia de los datos del sistema hemos considerado la utilización de sistemas de bases de datos NoSQL de última generación, ya que se adaptan mucho mejor que los sistemas relacionales

tradicionales a los requisitos de eficiencia en aplicaciones intensivas de datos, como es nuestro caso.

Los sistemas de bases de datos NoSQL escalan de forma horizontal, mejorando el rendimiento del sistema al incorporar nuevos nodos al sistema, mientras que el escalado vertical añade más recursos de memoria, CPU y disco a máquinas aisladas para mejorar su capacidad de procesamiento, lo cual tiene un impacto mayor en el diseño del sistema.

La facilidad de diseño del modelo que nos proporciona MongoDB para el almacenamiento de los datos nos hizo decantar por este sistema como motor de almacenamiento y acceso. MongoDB es una base de datos NoSQL orientada a documentos donde el elemento base para el almacenamiento es un documento en formato JSON. El uso del formato JSON simplifica el modelo de datos, ya que cualquier dato que llega al sistema puede adecuarse fácilmente a este estándar. De este modo, cuando un dato es generado en un alimentador resulta muy sencillo de encapsular en origen en un documento JSON y enviarlo directamente a MongoDB, una vez que ha sido aplicado el proceso de transformación del mismo si fuera necesario. Pese a que una de las ventajas más importantes con respecto a las bases de datos relacionales es que no es necesario seguir un esquema, hemos establecido un modelo estándar que permite representar con fidelidad los distintos tipos de datos que alimentan al sistema y atender las necesidades posteriores de información de los usuarios.

Además, los sistemas de bases de datos NoSQL actuales contemplan cada vez más las necesidades de tratamiento espacio-temporal incorporando en ellos mecanismos que facilitan su combinación, aunque bien es cierto que aún nos queda recorrido para llegar a solucionar por completo los problemas y dificultades que presenta este tratamiento conjunto. Sin embargo el tratamiento del tiempo deberá ser contemplado desde una lógica exterior al propio sistema, apoyada en las decisiones de diseño que hemos tomado para dotar de memoria temporal a nuestra plataforma.

De este modo hemos definido las estructuras que especifican con precisión el significado y componentes de cada uno de los objetos con los que vamos a trabajar. La utilización de esquemas posibilita describir y validar la información que se almacena en cada objeto.

El esquema genérico para los principales tipos de datos se dispone en dos bloques básicos:

- Bloque descriptivo: Contiene datos que son invariantes en el tiempo o su variación no es de interés para el sistema. De estos datos sólo se almacena su versión más reciente.
- Bloque productivo: Contiene los datos generados por algún actuador del sistema y que perviven y son válidos durante un periodo acotado de tiempo. El sistema mantiene un registro con las diferentes versiones de estos datos.

La estructura de estos esquemas puede estar formada por un tipo simple (tal como un número entero o una cadena de caracteres) o un tipo estructurado (compuesto de otros subtipos). Estos últimos a su vez pueden ser listas, bien de elementos simples o de objetos del mismo tipo y colecciones que pueden incluir objetos de diferentes tipos.

La información que almacena el sistema está organizada en cuatro tipos, cada uno de ellos con un esquema diseñado.

- Esquema para almacenar la información de las parcelas y las zonas de cultivo.
- Esquema para los agentes, usuarios con información de tipo cooperativa, técnico o propietario.
- Esquema para los feeders que alimentan al sistema y que pueden ser de tipo mota (registradores de datos) o servicio meteorológico.
- Esquema para las actividades que pueden realizarse en las zonas de cultivo, ya sea riego, fertilización, análisis de suelo, fitosanitario, etc.

2.4 Coherencia espacio-temporal

Espacio y tiempo juegan un papel muy importante y son dimensiones que hay que contemplar en el sistema. ¿Qué ocurre cuando uno o más elementos del sistema pueden verse expuestos a cambios en el tiempo? ¿Qué sucede con aquella información que ha de seguir disponible aun cuando algún elemento del sistema no lo está? Toda la información que se genera en el sistema es importante para su uso inmediato pero también, del mismo modo, para su posible uso futuro. Imaginemos los casos en los que una cooperativa agrícola necesita los datos de campañas y temporadas pasadas para generar informes estadísticos de producción, o técnicos que quieren mantener un histórico de los cultivos de una parcela que ha ido cambiando sus zonas de cultivo con el tiempo. Todo esto es información que hay que mantener. En el ejemplo de la figura 4 se observa una parcela que inicialmente tiene cuatro zonas de cultivo y que evoluciona en el tiempo transformando su superficie en diferentes zonas.

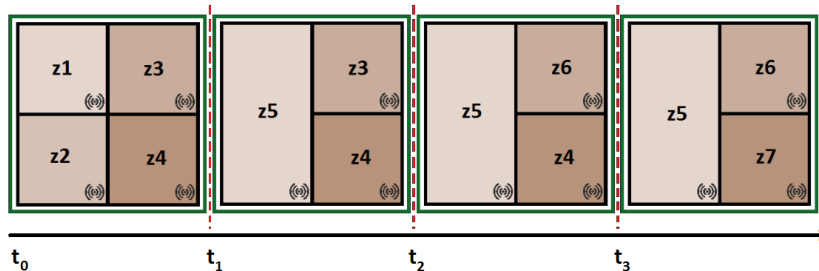


Fig. 4. Cambios en las zonas de cultivo de una parcela a lo largo del tiempo.

Inicialmente la parcela consta de cuatro zonas (z1, z2, z3 y z4) pero con el paso del tiempo, ya sea por la llegada de nuevas temporadas de cultivo o por algún otro motivo, las zonas van cambiando hasta llegar a una distribución final de tres zonas (z5, z6 y z7). La necesidad de reflejar cada uno de los cambios sufridos por los elementos del sistema durante el tiempo es clave para no perder información y mantener una disponibilidad absoluta del estado de los datos en todo momento.

Por ello, definir las estructuras que van a dar cabida a los datos siguiendo un criterio de coherencia espacio-tiempo es necesario para que nuestro sistema sea capaz de responder a consultas sobre lo sucedido en el pasado sobre aquellos elementos que estén sujetos cambios y cuya información haya que mantener de forma continua en el sistema. Para conseguir esta conexión espacio-tiempo, los elementos principales como las parcelas de cultivo sobre las que se aplican modelos agronómicos y los

registradores de datos instalados en ellas, tienen bien definidos sobre el esquema de sus estructuras la variante espacial que permite almacenar información acerca de su localización geográfica y delimitar la extensión del terreno.

En el aspecto temporal, la información que se almacena en nuestra base de datos lleva definida en su esquema una marca que indica la validez de dicha información en el tiempo.

De este modo, en el ejemplo de la figura 5 apartado a), se observa la forma en la cual el sistema afronta los cambios en el tiempo sobre una parcela y su división en zonas de cultivo. El sistema almacena un histórico de los cambios en las zonas de cultivo de una parcela combinando la validez temporal de cada una de ellas con una marca que acota y limita su existencia en el sistema. De forma inicial, cada zona de cultivo lleva adherida una fecha de inicio que refleja el instante en el que dicha zona fue creada. Del mismo modo, cada zona tiene una fecha de fin de existencia que inicialmente no está activa si la zona no sufre cambios en el tiempo, y que pasará a activarse cuando alguna causa externa provoque que la zona deje de estar disponible. Esto le indica al sistema qué evolución ha sufrido una parcela y en qué instantes, conociendo en todo momento un histórico de los datos y el estado en el que se encuentra.

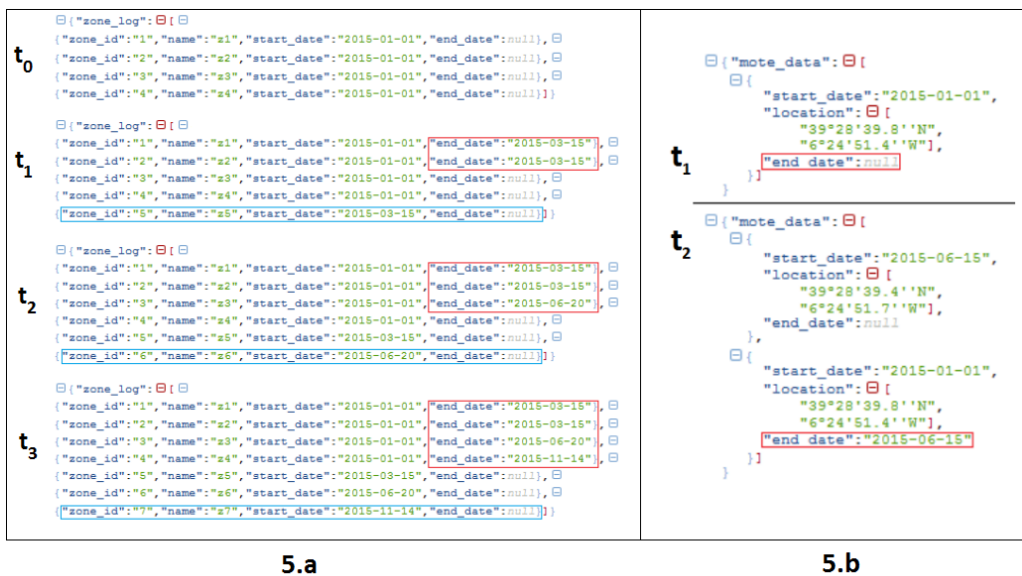


Fig. 5. a) Histórico de las localizaciones geográficas de un datalogger en el tiempo. b) Histórico de las localizaciones geográficas de un datalogger en el tiempo.

Otro elemento del sistema que puede sufrir cambios en el tiempo son los dataloggers instalados en las parcelas de cultivo. ¿Qué ocurre si un registrador de datos cambia de localización geográfica y es instalado en otra zona de cultivo dentro de la parcela? Como en el caso anterior, se impone la necesidad de mantener en el sistema todos los datos que registran los sensores. De este modo, la estructura del elemento cambiante es capaz de afrontar una evolución temporal sin que la

información del sistema sufra modificaciones. Como se observa en la figura 5, apartado b), el registrador de datos en el instante t_1 no tiene activada la marca de tiempo que acota su actividad, lo cual indica que, para esa localización geográfica donde está instalado, el elemento sigue emitiendo información. En el instante t_2 podemos ver cómo el registrador de datos cambia de localización geográfica indicando al sistema la actividad del mismo. Se activa la marca de tiempo para indicar al sistema qué localización ha dejado de ser válida y a partir de qué nueva localización se está recibiendo información. El histórico del elemento registrador de datos mantiene los cambios sufridos en el tiempo y el sistema deja disponible la información registrada por el elemento en localizaciones pasadas. De este modo, pese a que algunos de los elementos que forman el sistema puedan estar sujetos a sufrir cambios en el tiempo, la coherencia del criterio espacio-temporal se mantiene, ya que toda la evolución del elemento queda registrada, indicando los periodos de validez de cada uno, y conservando los datos siempre disponibles en el sistema.

3 Modelo de riego

El modelo agronómico de riego utiliza la información disponible en el sistema proveniente de las fuentes externas que proporcionan los alimentadores (red de sensores y estaciones de meteorología) e información específica de la parcela y el cultivo, estableciendo diferentes niveles de datos para realizar un exhaustivo análisis del cultivo de una parcela ofreciendo como resultado de dicho proceso una estimación diaria de horas de riego recomendadas según las características y el estado del cultivo.



Fig. 6. Diagrama del modelo de riego.

La estructuración de niveles de datos en el modelo puede establecerse del siguiente modo, acorde con la figura 6:

- Esquema para las actividades que pueden realizarse en las zonas de cultivo, ya sea riego, fertilización, análisis de suelo, fitosanitario, etc.

- Nivel 1: Se corresponde con la entrada de datos en el sistema. Información propia y necesaria de cada parcela y cultivo, tal como el tipo de cultivo, variedad, fecha de las fases (brotación, desarrollo foliar, recolección, caída de la hora, etc.).
- Nivel 2: Datos pertenecientes a la red de sensores y estaciones de meteorología. En el caso de la información perteneciente a las estaciones, el sistema almacena un histórico de los datos de las estaciones desde alrededor de una década, pudiendo aplicar un valor medio de los mismos en el caso de faltar algún dato en un momento dado.

Los datos del nivel 1 y nivel 2 permitirán obtener los valores teóricos de riego para la parcela y momento del cultivo, estos valores se convertirán a través de algoritmos de cálculo en horas de riego diarias o semanales a aplicar en el cultivo.

- Nivel 3: Sensores automáticos o manuales de estimación del estado hídrico del cultivo que pueden ajustar los algoritmos de cálculos de los valores de dosis teóricas a horas de riego.

El presente modelo ha sido desarrollado en PHP v5.6.20 y diseñado para ser lanzado en el sistema como un proceso diario que analice la información y proporcione como resultado la recomendación diaria de horas de riego para un cultivo concreto dentro de una determinada parcela.

Fecha	Día	ET0	Kc	T. R. Teórico	R. m3 Teórico	T. R. Aplicado	R. m3 Aplicado	Balance
2015-05-03	64	3.030	0.616	00:00:00	0.000	00:00:00	0.000	-46.77
2015-05-04	65	4.030	0.627	00:00:00	0.000	00:00:00	0.000	-49.58
2015-05-05	66	3.850	0.637	00:00:00	0.000	00:00:00	0.000	-52.31
2015-05-06	67	4.610	0.648	01:30:00	0.480	00:00:00	0.000	-55.63
2015-05-07	68	6.070	0.658	05:00:00	1.600	00:00:00	0.000	-60.07
2015-05-08	69	4.030	0.669	06:00:00	1.920	00:00:00	0.000	-63.07

Fig. 7. Modelo de riego. Tiempo de riego teórico.

La imagen de la figura 7 muestra la información correspondiente tras aplicar el modelo de riego a un cultivo, organizado a modo de tabla. Cada fila se corresponde con una ejecución del modelo. De este modo, se pueden observar diferentes columnas donde se indica la fecha de ejecución del mismo, día de las fases del cultivo y variables propias del modelo de riego como el coeficiente de cultivo (Kc), evapotranspiración potencial diaria (ET0), balance hídrico, etc. Las columnas con borde color rojo nos indican en horas, tanto el tiempo de riego teórico como el tiempo de riego aplicado. En este caso, se observa cómo el modelo recomienda una serie de horas teóricas y la columna de tiempo aplicado no muestra actividad de riego, indicando que el cultivo no ha sido regado esos días.

Las recomendaciones diarias que propone el modelo facilitan la labor de riego del técnico o agricultor ya que están basadas en un exhaustivo estudio y análisis de

importantes variables ligadas al crecimiento y avance del cultivo, el estado del suelo y la actividad climática de la zona en la que está situada la parcela.

4 Resultados

La arquitectura software descrita en este artículo ha sido implantada en un proyecto de desarrollo que integra tecnologías con el fin de lograr una explotación rentable de los recursos agrarios (TIERRA). El proyecto contempla en su primera fase la utilización de parcelas con diferentes tipos de cultivo en Extremadura, concretamente sobre parcelas situadas en municipios de la provincia de Badajoz (Don Benito, Villanueva de la Serena y Lobón).

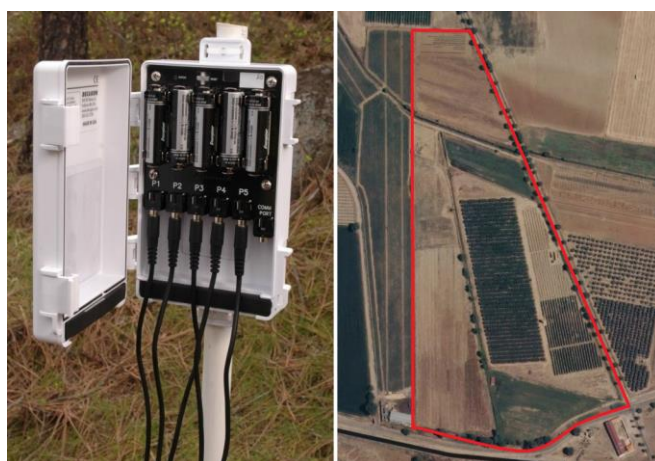


Fig. 8. Registrador de datos y parcela de cultivo.

En ellas, han sido instalados una serie de dataloggers de la marca Decagon (modelo Em50g), tal y como muestra la figura 8 en la imagen de la izquierda, que registran información del terreno y el cultivo del ciruelo en sus variedades Crimson Glo y Angeleno. Junto con esta tecnología de sensores y la información proveniente de la red de asesoramiento al regante, REDAREX, mediante sus estaciones meteorológicas, se alimenta al sistema de forma autónoma con los datos necesarios. Esto hace posible implantar la arquitectura de software basada en las tecnologías descritas, dotando a la infraestructura de un potencial aplicable a un caso real en un proyecto agronómico para agricultura de precisión. El proyecto TIERRA cuenta además con el desarrollo de la aplicación Itierra para ofrecer las funcionalidades del sistema al usuario. La interfaz visual, disponible tanto para la versión web como para dispositivos smartphone y tablet, facilita por supuesto las tareas de alta y registro de usuarios y alimentadores que se encargarán de monitorizar las variables de interés para el sistema. Mediante el uso de la API de Google Maps y SIGPAC [9], se simplifica sobremanera el registro de las parcelas y su georreferenciación y un formulario completo y extenso le facilita al usuario la introducción de datos relativos al cultivo, características de suelo, etc. La aplicación permite de modo sencillo e intuitivo la

creación de actividades programadas entre las que se contempla por supuesto la calendarización del riego que propone de modo automático el modelo. La figura 9 presenta una captura de pantalla correspondiente a esta sección de la aplicación.

Aunque el alcance del proyecto referido contempla en exclusiva el despliegue del sistema en parcelas determinadas, la implantación del mismo prevé su extensión al conjunto de explotaciones gestionadas por las cooperativas que han participado en el proyecto, así como la incorporación de nuevas funcionalidades propias de la gestión de este tipo de explotaciones. La arquitectura descrita se ha diseñado para este propósito, permitiendo la ejecución eficiente de consultas de muy variada tipología.



Fig. 10. Aplicación Itierra. Menú de actividades programadas.

5 Conclusiones

El grado de desarrollo que están alcanzando las tecnologías denominadas Smart ha provocado un nuevo impulso en áreas de aplicación que típicamente han mostrado un grado de resistencia a la innovación. En concreto el sector agroindustrial se ha visto favorecido por este hecho y un nuevo paradigma como el de la agricultura de precisión comienza a imponerse en el sector. Los sistemas de información orientados al sector agrícola facilitan la gestión de las explotaciones, introduciendo nuevos elementos que facilitan el proceso de toma de decisiones al objeto de hacerlas más rentables y sostenibles.

En este artículo hemos presentado la arquitectura software de un sistema de estas características basado en tecnologías Smart. Como puede observarse, la implementación del sistema no requiere un despliegue desmesurado de tecnologías y su implantación no resulta compleja ni costosa en términos económicos. Aparte del modelo de riego y fertilización, la componente más delicada de diseñar desde el punto de vista del software es el esquema de información que sostiene la base de datos, ya que el mantenimiento de la coherencia espacio-temporal requiere un modelo de datos capaz de contemplar con suficiente versatilidad las dimensiones espacial y temporal

que impone la aplicación. El apartado de resultados aporta finalmente algunos detalles sobre la implantación de nuestro sistema en explotaciones reales pertenecientes a cooperativas pacenses.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido co-financiado con fondos FEDER de la Unión Europea (Proyecto Coinvestiga ref EI-14-0007-1), fondos de la Junta de Extremadura (Secretaría Gral de Ciencia, Tecnología e Innovación) y las empresas CREX, Fruvegal y Mastercom.

6 Referencias

- 1 Mondal, P.; Basu, M.; Bhadoria, P. B. S. Critical Review of Precision Agriculture Technologies and Its Scope of Adoption in India. *American Journal of Experimental Agriculture*, Vol. 1, No. 3, pp. 49-68 (2011)
- 2 Fountas, S.; Sorensen, C. G.; Tsiropoulos, Z.; Cavalaris, C.; Liakos, V.; Gemtos, T. Farm machinery management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 110, pp. 131–138 (2015)
- 3 Kaloxylos, A.; Groumas, A.; Sarris, V.; Katsikas, L.; Magdalinos, P.; Antoniou, E.; Politopoulou, Z.; Wolfert, S.; Brewster, C.; Eigenmann, R.; Maestre Terol, C. A cloud-based Farm Management System: Architecture and implementation. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 100, pp. 168–179 (2014)
- 4 Juan Agüera Vega; Manuel Pérez Ruiz. Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta*, Vol. 105, pp. 16–27 (2013)
- 5 Kaloxylos, A.; Eigenmann, R.; Teye, F.; Politopoulou, Z.; Wolfert, S.; Shrank, C.; Dillinger, M.; Lampropoulou, I.; Antoniou, E.; Personen, L.; Nicole, H.; Thomas, F.; Alonistioti, N.; Kormentzas, G. Farm management systems and the Future Internet era. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 89, pp. 130–144 (2012)
- 6 Erena, M.; Lopez-Francos, A.; Montesinos, S.; Berthoumieu, J.: The use of remote sensing imagery and geographic information systems for irrigation management in southern Europe. *Options Méditerranéennes*, Vol. Serie B, No. 67, pp. 121-231 (2012)
- 7 Red de Asesoramiento al Regante de Extremadura. Redarex Plus Web. <http://redarexplus.gobex.es/RedarexPlus/>. Accedido el 21 de Abril de 2016
- 8 IBM Emerging Technologies. *Node-RED Web*. <http://www.nodered.org>. Accedido el 19 de Abril de 2016
- 9 Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas. <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sistema-de-informacion-geografica-de-parcelas-agricolas-sigpac/>. Accedido el 27 de Abril de 2016