

ROLE OF AUTOMATION AGENTS IN AGRIBUSINESS DECISION SUPPORT SYSTEMS

FUNCIÓN DE LOS AGENTES DE AUTOMATIZACIÓN EN LOS SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN AGRONEGOCIOS

Martin Pavlovic^{1*}, Fotis N. Koumboulis², Maria P. Tzamtzi² and Crtomir Rozman³

¹International Hop Growers' Convention - Secretary General, 22, Rue des roses, F-67173 Brumath, France (martin.pavlovic@guest.arnes.si). ²Department of Automation, Halkis Institute of Technology, Greece. ³Faculty of Agriculture, University of Maribor, Slovenia.

ABSTRACT

Various automation agents can be embedded in a modern Decision Support System in agriculture, based on the following design approaches: E-Learning Agent, Monitoring Agent, Fault Diagnosis Agent, Weather Information Agent, E-Commerce Agent and Logistics Agent. The proposed Agents contribute to farmers' education, to timely correct fault diagnosis and the incorporation of modern agricultural techniques. Moreover, they allow processing historical data, while taking into account several factors in order to support decision making. The preliminary Automation Agents for Decision Support Systems (AADSS) model idea may be applied to various agribusiness activities on international level. Moreover, an operator agent is proposed, that exploits technological and economic information gathered from all the aforementioned Automation Agents in order to make decisions regarding the proposal of possible scenarios in a chain of raw material production to a final product. An initiative to develop and introduce stepwise a model for hop industry decision support system with embedded automation agents has been launched within the International Hop Growers' Convention (IHGC). It is intended to support growers, merchants and brewers through their various decision making activities in agribusiness. The first concept results validate the application of a model for future research.

Key words: Applied computer modelling, decision support systems, forecasting, IHGC, information management.

INTRODUCTION

Difficulty for decision making in modern agribusiness has increased significantly, since it involves a large number of strongly interrelated factors that affect the satisfaction of the performance criteria describing product quality, production timing and cost. In addition, decision making has to take into account regulations and restrictions

RESUMEN

Diversos agentes de automatización pueden estar involucrados en un moderno sistema de apoyo a la toma de decisiones, con base en los siguientes planteamientos de diseño: Agente E-Learning, Agente de monitoreo, Agente de Diagnóstico de Fallas, Agente de Información del Clima, Agente E-Comercio y Agente de Logística. Los agentes propuestos contribuyen a la educación de los agricultores, a la corrección oportuna de fallas de diagnóstico y a la incorporación de técnicas agrícolas modernas. Además, permiten el procesamiento de información histórica, considerando diversos factores a fin de ayudar en la toma de decisiones. La idea del modelo preliminar "Agentes de Automatización para Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones" (AASATD) puede aplicarse a varias actividades de agribusiness a nivel internacional. Asimismo, se propone un agente operador que utilice información tecnológica y económica obtenida de todos los Agentes de Automatización mencionados, con el fin de tomar decisiones relativas a la propuesta de posibles escenarios en una cadena de producción que abarca desde la materia prima hasta el producto final. La International Hop Grower's Convention (IHGC) ha lanzado una iniciativa para desarrollar e introducir paulatinamente un modelo de sistema de ayuda a la toma de decisiones para la industria del lúpulo, mediante agentes de automatización incrustados. Está dirigido a apoyar a agricultores, comerciantes y cerveceros en sus diversas actividades de toma de decisiones en la agroindustria. Los resultados del primer concepto validan la aplicación de un modelo para investigaciones futuras.

Palabras clave: modelización computacional aplicada, sistemas de ayuda a la toma de decisiones, IHGC, manejo de la información.

INTRODUCCIÓN

En la agroindustria moderna, los problemas respecto a la toma de decisiones se han incrementado significativamente, toda vez involucran un gran número de factores fuertemente interrelacionados que afectan el cumplimiento del criterio de desempeño que define la calidad del producto, el periodo de producción

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.
Received: August, 2007. Approved: September, 2008.
Published as ARTICLE in *Agrociencia* 42: 913-923, 2008.

concerning the safety of the personnel, the environmental protection and the energy saving. Moreover, agriculture is becoming more commercialized, as farmers are competing with other farmers all over the world. To face these challenges modern agricultural practices must be adopted; however, they require appropriately educated and informed farmers (Abdon and Raab, 2004). So, the question is how to provide the required knowledge and information to farmers, even to those without a high education level.

A powerful tool to circumvent these difficulties is the technological area of agroinformatics and concerns the use of Information Management and Decision Support Systems (IMDSS). They aim to monitoring all functions of an agricultural process and facilitating decision making by proposing scenarios towards satisfying specific performance criteria and restrictions. IMDSS may perform several operations: monitoring the agricultural process, action planning and proposal of scenarios, processing of measurement data to extract information regarding the production cost and the product quality, fault diagnosis and alarm management.

Decision Support Systems (DSS) have been extensively used in industrial applications to support the human-supervisor decisions regarding assurance of efficient and safe processes operation (Lambert *et al.*, 1999; Sanchez *et al.*, 1996). The degree of automation in decision making is the major factor of differentiation between DSS. The DSS characterized by the lower degree of automation simply facilitate decision making by offering information to the operator; in an upper stage DSS incorporate decision-making units that simply propose actions without the jurisdiction of activation. DSS classified in the highest degree of automation completely replace - in certain activities - the human operator. The development of Automation Units for industrial decision making, being implemented as software agents, which may be incorporated in an abundance of commercial Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) products, has been proposed (Koumboulis and Tzamtzi, 2005). The proposed Automation Agents for Decision Support Systems (AADSS) may cover a wide range of industrial applications, providing decision support of the highest degree of automation.

IMDSS specifically oriented for agribusiness applications are met both in the international practice and literature (McCown, 2002; Parrott *et al.*, 2003). Most of them are designed to serve specific sectors of agribusiness, like cotton management (McCown, 2002), vegetable processing industry (Berlo van, 1993), soybean management (Welch *et al.*, 2002), wheat cultivar selection and fertilization (McCown, 2002),

y el costo. Asimismo, la toma de decisiones debe considerar las regulaciones y restricciones relativas a la seguridad del personal, la protección ambiental y el ahorro de energía. Además, la agricultura se comercializa cada vez más, como resultado de la competencia entre los agricultores a nivel mundial. Para hacer frente a estos desafíos se deben adoptar prácticas agrícolas modernas; sin embargo, éstas requieren de agricultores informados y educados adecuadamente (Abdón y Raab, 2004). Así, el asunto radica en cómo proporcionar el conocimiento y la información requeridas a los agricultores, incluyendo a aquellos que carecen de estudios superiores.

Una herramienta poderosa para sortear estas dificultades es el área tecnológica de la agro-informática y tiene que ver con el uso de los Sistemas de manejo de información y ayuda a la toma de decisiones (SMIATD). Su objetivo es monitorear todas las funciones de un proceso agrícola y facilitar la toma de decisiones proponiendo escenarios con miras a cumplir criterios y restricciones de desempeño específicos. Los SMIATD pueden desempeñar diversas operaciones: monitorear del proceso agrícola, planificación de la acción y propuesta de escenarios, procesamiento de la medición de datos para obtener información relativa al costo de producción y la calidad del producto, diagnóstico de fallas y manejo de alarmas.

Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones (SATD) se han utilizado ampliamente en aplicaciones industriales para apoyar al supervisor-humano en la toma de decisiones enfocadas a garantizar el funcionamiento de procesos eficientes y seguros (Lambert *et al.*, 1999; Sanchez *et al.*, 1996). El grado de automatización en la toma de decisiones es el factor principal de diferenciación entre los SATD. El SATD de menor grado de automatización sólo facilitó la toma de decisiones al proporcionar información al operador; en una fase superior el SATD incorpora unidades de toma de decisiones que sólo proponen acciones sin el poder de activación. Los SATD de mayor grado de automatización reemplazan por completo -en ciertas actividades- al operador humano. Se ha sugerido el desarrollo de unidades de automatización para la toma de decisiones en el ámbito industrial, implementadas como agentes de software, que pueden incorporarse a una gran cantidad de productos comerciales de Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) (Koumboulis and Tzamtzi, 2005). Los Agentes de Automatización para los Sistemas de ayuda a la toma de decisiones (ADSS) pueden cubrir una gran variedad de aplicaciones, proporcionando ayuda del más alto grado de automatización en lo que respecta a la toma de decisiones.

irrigation (Mira da Silva *et al.*, 2001), etc. Moreover, in most cases the proposed DSS are designed to support only a limited range of the decisions to be taken by the farmer. For example, a DSS called PCYield is designed to answer the following two questions aiming to support decisions concerning soybean cultivar selection: What yield range might be expected? And, what happens if irrigation is withheld for a time and the weather is dry? (Welch *et al.*, 2002). An interesting case is DSS supporting farm planning (Recio *et al.*, 2003), which involves a significant range of farming decisions, like scheduling of field tasks, investment analysis, machinery selection and cost/benefit analysis.

Increasing the functionality of DSS with additional characteristics have been proposed, for the example the use of operational research and management's science tools in order to integrate weather forecasts in decision making (Recio *et al.*, 2003). Of special interest is the development of DSS that incorporate tools from agribusiness logistics (Berlo van, 1993; Folinas *et al.*, 2003; Biere, 2001).

Several approaches have been used for developing DSS in agribusiness, based either on operational research/management science, on heuristic search or other artificial intelligence techniques (Recio *et al.*, 2003). Three of the most popular are linear programming dynamic programming and model-based simulation approaches; a fuzzy logic based approach has also been proposed (Thangavadivelu and Colvin, 1997) for scheduling tillage operations. Despite the research efforts for the development of DSS for agribusiness, farmers seem to be reluctant to involve DSS in their work; thus, the range of application of DSS in agriculture remains significantly smaller than in industry. According to McCown (2002), the two variables long recognized as key to user acceptance is perceived usefulness and ease of use.

The present work proposes stepwise development of Automation Agents for Decision Support Systems (AADSS) for agribusiness. Following Koumboulis and Tzamtzi (2005) for industrial applications, the automation agents will be implemented as software units, which may be incorporated in several commercial SCADA products. The proposed agents aim to support decision making in a significant range of the agribusiness operation, extending from cultivation techniques to farm planning and commerce of products, by undertaking to execute actions, like monitoring the agricultural process, providing e-learning functionalities, fault diagnosis, e-commerce support, planning based on logistics and processing of weather information. Thus, the farmer is strongly supported with regard to all decision making that concerns the actions to be performed for all stages of agribusiness, from production to commerce.

Los SMIATD orientados específicamente a las aplicaciones de la agroindustria están en la práctica y la literatura internacionales (Mc Cown, 2002; Parrot *et al.*, 2003). La mayoría de éstos están diseñados para servir a sectores específicos de la agroindustria, tales como manejo de algodón (McCown, 2002), industria de procesamiento de vegetales (Berlo van, 1993), manejo de soya (Welch *et al.*, 2002), selección y fertilización de variedades de trigo (McCown, 2002), riego (Mira da Silva *et al.*, 2001), etcétera. Además, en la mayoría de los casos los SATD propuestos están diseñados para ayudar únicamente en un rango limitado de las decisiones a tomar por el agricultor. Por ejemplo, un SATD llamado PCYield está concebido para responder las dos siguientes preguntas a fin de ayudar en las decisiones relativas a la selección de variedades de soya: ¿Qué rango de rendimiento puede esperarse? y ¿Qué pasa si el riego se interrumpe por un periodo y hay sequía? (Welch *et al.*, 2002). Un caso interesante es el SATD de ayuda a la planeación agrícola (Recio *et al.*, 2003), el cual implica una gran variedad de decisiones de cultivo, tales como la planeación de tareas de campo, análisis de inversión, selección de maquinaria y análisis costo/beneficio.

Se ha propuesto incrementar la funcionalidad de las SATD con características adicionales, como por ejemplo el uso de investigación operacional y de herramientas científicas de manejo a fin de integrar pronósticos de tiempo en la toma de decisiones (Recio *et al.*, 2003). El desarrollo de SATD que incorporen herramientas de logística agroindustrial de suma importancia (Berlo van, 1993; Folinas *et al.*, 2003; Biere, 2001).

Se han usado diversos enfoques para desarrollar SATD en la agroindustria, basados ya sea en investigación operativa/ciencia administrativa, en búsqueda heurística o en otras técnicas de inteligencia artificial (Recio *et al.*, 2003). Tres de los más populares son enfoques de programación lineal, de programación dinámica, así como basados en simulación; también se ha propuesto uno basado en lógica difusa (Thangavadivelu and Colvin, 1997) para el programa de operaciones de labranza. Aún con los esfuerzos de investigación para el desarrollo de SATD para la agroindustria, los agricultores se muestran renuentes a integrar SATD en su trabajo; por tanto, el grado de aplicación de SATD en la agricultura es significativamente menor que en la industria. De acuerdo con McCown (2002), las dos variables consideradas como clave para la aprobación por parte del usuario son la utilidad y la facilidad de uso.

Este trabajo propone un desarrollo paulatino de los Agentes de Automatización para los Sistemas de ayuda a la toma de decisiones (AASATD) para la

Moreover, the AADSS will provide a very friendly and easy to use graphical user interface, exploiting the graphical user interface capabilities of commercial SCADA products.

MATERIALS AND METHODS

Automation agents

The proposed Automation Agents will be based on modern techniques of sustainable agriculture, so as to face the restrictions and difficulties of agricultural environment, such as high complexity, presence of uncertain and time changing factors, like weather, and restriction of natural sources, like water.

The proposed Automation Agents are the Supervisory Agents and the Operator Agent. The Supervisory Agents are the E-learning Agent, the Monitoring Agent, the Fault Diagnosis Agent, the Weather Information Agent, the E-Commerce Agent and the Logistics Agent. Their functionality aims to supervise all aspects of agribusiness, from production to commerce, and moreover to provide e-learning services to farmers' group. It is important to note that the knowledge data base used for the E-learning Agent is dynamically adapted with any new information derived from processing the data gathered from the process. The Operator Agent exploits information gathered from all the aforementioned Automation Agents in order to support the farmer's decision making by proposing possible scenarios to the farmer. The interconnection between the Operator and the Supervisory Agents is illustrated in Figure 1.

Operator Agent

The Operator Agent will be implemented according to the DAI-DEPUR architecture, an integrated and distributed artificial intelligence supervisory architecture, proposed by Sanchez *et al.* (1996) for a waste-water treatment plant. The DAI-DEPUR architecture has also been used for the implementation of an Operator Agent for industrial applications (Koumboulis and Tzamtzi, 2005). Below we present in short the DAI-DEPUR architecture as described by Sanchez *et al.* (1996).

The DAI-DEPUR architecture comprises the data level, the distributed knowledge level, the reasoning level and the supervisory level.

The data level comprises the data collection system, that receives data from the process sensors, and the data base management system. The distributed knowledge level comprises distributed agents each of which processes validates and monitors the available information for a specific subsystem of the process, in order to describe the subsystem's behavior. Their conclusions are sent to the supervisory level in order to diagnose the whole plant state. The distributed knowledge level comprises simulation modules, as well as knowledge acquisition modules. The role of the knowledge acquisition modules is two-fold; first a conceptual clustering of data is performed, that leads to a representation of the process domain of operation in terms of classes, and then conjunctive classification rules are determined.

agroindustria. De acuerdo con Koumboulis and Tzamtzi (2005), los agentes de automatización para las aplicaciones industriales se implementarán como unidades de software que pueden incorporarse a varios productos comerciales SCADA. Los agentes propuestos están encaminados a ayudar en la toma de decisiones en un rango amplio de la operación agroindustrial, que abarca desde técnicas de cultivo hasta la planeación agrícola y la comercialización de productos, mediante la ejecución de acciones como monitorear el proceso agrícola, proporcionar funcionalidades e-learning, diagnosticar fallas, apoyar el e-comercio, planear a partir de logística y procesamiento del pronóstico del tiempo. Así, el agricultor cuenta con gran ayuda en lo que respecta a la toma de decisiones que tienen que ver con las acciones que deben realizarse en todas las fases de la agroindustria, desde producción hasta el comercio. Además, los AASATD proporcionarán una interfase gráfica para el usuario, de uso fácil y amigables, aprovechando las capacidades de la interfase gráfica para el usuario de los productos comerciales de SCADA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Agentes de automatización

Los agentes de automatización propuestos estarán basados en técnicas modernas de agricultura sustentable, a fin de hacer frente a las limitantes y dificultades del medio agrícola, como alta complejidad, presencia de factores variables y cambiantes, tales como el clima, y limitación de recursos naturales, como el agua.

Los agentes de automatización propuestos son los agentes supervisores y el agente operador. Los agentes supervisores son el agente E-learning, agente de monitoreo, agente de diagnóstico de fallas, agente de información del tiempo, agente E-comercio y agente de logística. Sus funciones están orientadas a supervisar todos los aspectos de la agroindustria, desde la producción hasta el comercio y, además, a proporcionar servicios de e-learning a grupos de agricultores. Cabe destacar que la base de datos de conocimientos usada para el agente e-learning se adapta activamente con toda la nueva información derivada del procesamiento de datos obtenidos en el proceso. El agente operador utiliza información obtenida por todos los agentes de automatización ya mencionados con el fin de apoyar a los agricultores en la toma de decisiones al sugerir posibles escenarios al agricultor. La interconexión entre el operador y los agentes de supervisión se muestra en la Figura 1.

Agente operador

El agente operador será implementado conforme a la arquitectura del DAI-DEPUR, una arquitectura supervisora de inteligencia artificial integrada y distribuida, propuesta por Sanchez *et al.* (1996) para una planta de tratamiento de aguas residuales. La arquitectura del DAI-DEPUR también se ha usado para implementar un agente

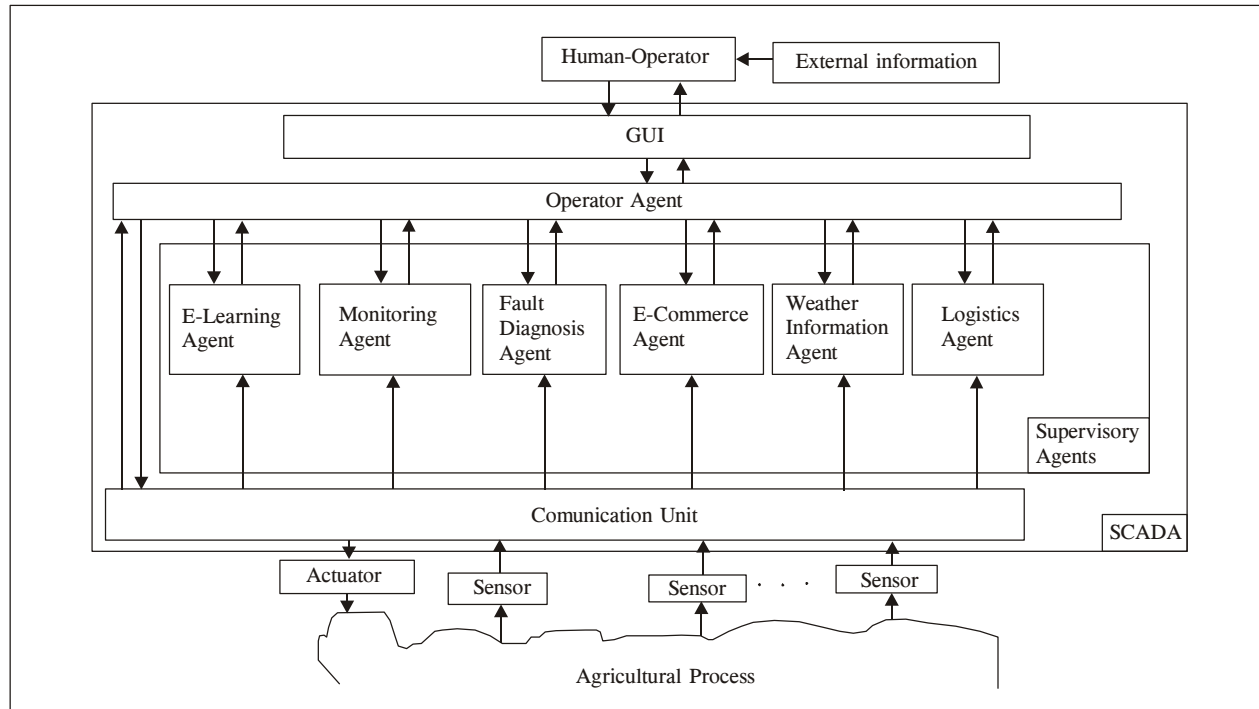


Figure 1. Embedment of Supervisory and Automation agents for agribusiness in SCADA systems.
Figura 1. Incrustación de Agentes de Supervisión y Automatización para la agroindustria en sistemas SCADA.

The reasoning level manages a Case Library that contains information about previously experienced situations, as well as solutions that have been taken in the past for each of these situations. Besides, the reasoning level may evaluate proposed solutions using simulation. The Case Library is dynamically enriched with information regarding the newly experienced situations.

The supervisory level gathers information from the distributed knowledge and the reasoning level, to determine the current status of process operation and coordinate the rest of Automation Agents. In our case the supervisory level is responsible for all decisions undertaken by the Operator Agent, that is:

- 1) Alarm management
- 2) Exchange of information between the Automation Agents
- 3) Configuration of the supervisory agents
- 4) Derivation and proposal of optimal, or at least suboptimal scenarios of actions to be undertaken by the farmer, based on specific performance requirements.

Due to the complexity of the agricultural processes, in conjunction with the large number of factors to be taken into account, it is a usual case in agribusiness to deal with competitive goals that is criteria that cannot be simultaneously achieved. For example, the improvement of the product quality usually increases the production cost; then scenarios proposed to the farmer should be based on a compromise between competitive design goals, performed to achieve the optimal result, regarding the economic issues of the process, like

operador para aplicaciones industriales (Koumboulis and Tamtzi, 2005). A continuación se muestra, de forma resumida, la arquitectura del DAI-DEPUR descrita por Sánchez *et al.* (1996).

La arquitectura del DAI-DEPUR incluye el nivel de datos, de conocimientos distribuidos, de razonamiento, y de supervisión.

El nivel de datos incluye el sistema de recolección de datos, que recibe información de los sensores de proceso, y el sistema de manejo de la base de datos. El nivel de los conocimientos distribuidos incluye a los agentes distribuidos, cada uno de los cuales procesa, valida y monitorea la información disponible para un subsistema específico del proceso, con el fin de describir el comportamiento del subsistema. Sus conclusiones se envían al nivel de supervisión para diagnosticar el estado general de la planta. El nivel de los conocimientos distribuidos comprende módulos de simulación, así como módulos de adquisición de conocimientos. La función de los módulos de adquisición de conocimientos es doble; primero se realiza un agrupamiento conceptual de datos, el cual lleva a una representación del ámbito de funcionamiento del proceso en términos de clases, y posteriormente se determinan las reglas conjuntivas de clasificación.

El nivel del razonamiento maneja una Biblioteca de Casos que contiene información sobre situaciones experimentadas previamente, así como soluciones que se han tomado en el pasado en cada una de dichas situaciones. Además, el nivel de razonamiento puede evaluar las soluciones propuestas a través de la simulación. La Biblioteca de Casos se enriquece activamente con información relativa a las situaciones experimentadas recientemente.

production cost and product quality, as well as energy or natural resources saving, while satisfying constraints imposed by environmental protection rules. This compromise may be formulated as an optimization under constraints problem (Koumboulis and Tzamtzi, 2005).

Supervisory Agents

Six Supervisory Agents are proposed based on the following approaches, selected to serve the needs of agribusiness:

- 1) E-Learning Agent
- 2) Monitoring Agent
- 3) Fault Diagnosis Agent
- 4) Weather Information Agent
- 5) E-commerce Agent
- 6) Logistics Agent

The E-Learning Agent aims to educate farmers with regard to required information and knowledge concerning the production techniques and the commerce of the specific product. The E-Learning Agent comprises a historic module implemented by a database, and a knowledge processing unit. The historic module contains required information background in order to make decisions concerning the agricultural process. The historic module stores measurements regarding the agricultural process and the weather, technical and scientific information concerning for example cultivation methods, plant diseases, special characteristics of each plant variety, effect of the weather on the plant, etc.; market information, like the available stock for each plant variety, current prices, current request from a national or a global market, etc., as well as legislation rules and restrictions. The knowledge processing unit is used in order to dynamically adapt the historic module based on the newly gathered information. The E-Learning Agent exploits also the information stored in the Case Library of the Operator Agent's reasoning level concerning previously experienced situations. The Monitoring Agent aims to provide the farmer, as well as the other Agents, all the necessary information regarding the current status of the agricultural process. For this purpose, the Monitoring Agent exploits the data level of the Operator Agent that collects information from the agricultural process sensors, like measurements of humidity and temperature, height of the plant, etc. These data are processed in order to derive information about the current status of the agricultural process, as for example the plant growth. The information provided by the Monitoring Agent is also used by the distributed knowledge level of the Operator Agent.

The Fault Diagnosis Agent aims to a timely diagnosis of any fault that may occur in the agricultural process, like plant diseases, harm caused by insects, malfunctioning of the irrigation system, problems due to weather conditions, etc. Fault detection is achieved using the information provided by the Monitoring Agent and it is based on specific fault detection rules provided by the historic module of the E-Learning Agent. Whenever a specific situation deviates from the rules provided by the historic module of the E-Learning

El nivel de supervisión reúne información de los conocimientos distribuidos y el nivel de razonamiento, para determinar el estado actual del funcionamiento del proceso y coordinar al resto de los agentes de automatización. En nuestro caso el nivel de supervisión es responsable de todas las decisiones tomadas por el agente operador, es decir:

- 1) Manejo de alarmas
- 2) Intercambio de información entre los agentes de automatización
- 3) Configuración de los agentes de supervisión
- 4) Obtención y propuesta de escenarios óptimos o por lo menos sub-óptimos de acciones a ser desarrolladas por el agricultor, conforme a requerimientos de desempeño específicos.

Debido a la complejidad de los procesos agrícolas, aunado al gran número de factores a tomar en cuenta, es común que en el ámbito de la agroindustria se trabaje hacia objetivos competitivos que generalmente no pueden ser logrados de manera simultánea. Por ejemplo, el mejoramiento de la calidad del producto generalmente incrementa el costo de producción; por tanto, los escenarios propuestos al agricultor deberían partir de la coincidencia de los objetivos de diseño en debate, desarrollados para alcanzar el resultado óptimo, con respecto a los temas económicos del proceso, como costo de producción y calidad del producto, así como ahorro de energía o recursos naturales, al tiempo que cumple con las limitaciones impuestas por las normas de protección al ambiente. Este compromiso puede formularse como un problema de optimización sujeto a restricciones (Koumboulis and Tzamtzi, 2005).

Agentes de supervisión

Se proponen seis agentes de supervisión a partir de los siguientes enfoques, seleccionados para satisfacer las necesidades de la agroindustria:

- 1) Agente E-aprendizaje
- 2) Agente de monitoreo
- 3) Agente de diagnóstico de fallas
- 4) Agente de pronóstico del tiempo
- 5) Agente E-comercio
- 6) Agente de logística

El agente E-aprendizaje busca educar a los agricultores en cuanto a la información requerida y a los conocimientos relativos a las técnicas de producción y al comercio de un producto específico. El Agente E-aprendizaje incluye un módulo histórico implementado por una base de datos y una unidad de procesamiento de conocimientos. El módulo histórico almacena mediciones relativas al proceso agrícola y al tiempo, información técnica y científica relativa, por ejemplo, a métodos de cultivo, enfermedades de plantas, características especiales de cada variedad de planta, efecto del tiempo sobre la planta, etcétera; información de mercado, como existencias de cada variedad de planta, precios actuales, solicitud actual de un mercado nacional o global, etcétera, así como normas legislativas y

Agent, data are either processed by the knowledge process unit of the E-Learning Agent or they are sent to an expert, in order to derive new rules that will enrich the fault diagnosis capabilities of the Agent. The Fault Diagnosis Agent may also use the functionality of the distributed knowledge level of the Operator Agent.

The Weather Information Agent aims to support the decision making process regarding the issues that concern weather conditions. This Agent gathers information from meteorological services, combining it with measurements from the cultivation site. Based on this information it provides short term prediction of weather conditions. Moreover, the cooperates with the historic module of the E-Learning Agent in a two fold manner: first it exploits information from the historic module to support the weather prediction process; secondly, the information gathered by him is used to enrich the historic module.

The E-Commerce Agent aims to support the sales through internet of agricultural products and it can also support the farmer in buying row material through internet. The E-Commerce Agents comprises an intelligent unit to use the market information stored in the historic module, in order to decide whether each buying or selling action is profitable for the farmer.

The Logistics Agent aims to support the farmer concerning decisions on planning and controlling an efficient flow and storage of raw materials, intermediate and final products from point of origin to point of consumption, so as to achieve specific performance requirements, while simultaneously satisfying constraints (Berlo van, 1993; Folinas *et al.*, 2003; Biere, 2001). The performance requirements concern the product cost and quality, the satisfaction of the market demand, the optimal exploitation of the processing equipment and cultivation area, etc. The restrictions concern the storage capacity, the maximum allowed time of storage, the available cultivation capacity and the processing capacity, etc. The planning provided by the Logistics Agent should take into account time changing and uncertain factors, like the weather conditions and the demand of the market. The Logistics Agent may consider the whole logistical chain incorporating agriculture, processing industry and market, as was proposed by Berlo van (1993); in this case, the DSS should communicate with corresponding information systems of the processing industry and market sectors, in order to derive the data required.

Embedding automation agents in SCADA systems

The implementation of Automation Agents should satisfy certain functional specifications, like interactive communication, real time processing and precision of calculations. To achieve these goals, the software development of the Automation Agents is based, following Koumboulis and Tzamtzi (2005), on international standards for open architecture, which will assure the embedment of the software in several commercial SCADA products. These systems are modern Information Systems with build-in capabilities of network communication that have widely been used in modern industry. The subsystems of a SCADA system are:

- 1) Bilateral communication with the process: data acquisition from sensors and command transmission through appropriate actuators,

restricciones. La unidad de procesamiento de conocimientos se usa a fin de adaptar activamente el módulo histórico con información reunida recientemente. El agente E-aprendizaje utiliza también la información almacenada en la Biblioteca de Casos del nivel de razonamiento del agente operador relativa a situaciones previas. El objetivo del agente de monitorización consiste en proporcionar al agricultor, así como a los otros agentes, toda la información necesaria relacionada con el estado actual del proceso agrícola. Para ello, el agente de monitorización utiliza el nivel de datos del agente operador que reúne información de los sensores del proceso agrícola, como las mediciones de humedad y temperatura, altura de la planta, etcétera. Estos datos se procesan para obtener información sobre el estatus actual del proceso agrícola como, por ejemplo, el crecimiento de la planta. El agente operador también utiliza la información proporcionada por el agente de monitorización.

El objetivo del agente de diagnóstico de fallas consiste en diagnosticar oportunamente cualquier falla que pudiera ocurrir en el proceso agrícola, como enfermedades de la planta, daños ocasionados por insectos, mal funcionamiento del sistema de riego, problemas ocasionados por condiciones climáticas, etcétera. La detección de fallas se logra mediante el uso de información proporcionada por el agente de monitorización y se basa en normas específicas de detección de fallas proporcionadas por el módulo histórico del agente E-aprendizaje. Cuando una situación determinada se deriva de las normas proporcionadas por el módulo histórico del agente E-aprendizaje, los datos se procesan a través de la unidad de proceso de conocimientos, o bien, se envían a un experto, a fin de obtener nuevas normas que enriquezcan las capacidades de diagnóstico de fallas del agente. El agente de diagnóstico de fallas puede usar también la funcionalidad del nivel de conocimientos distribuido del agente operador.

El agente de información del tiempo busca apoyar la toma de decisiones que conciernen a las cuestiones relativas a las condiciones climáticas. Este agente reúne información de los servicios meteorológicos y la combina con mediciones de la zona de cultivo. A partir de esta información, proporciona un pronóstico del tiempo a corto plazo. Además, coopera con el módulo histórico para apoyar al proceso de pronóstico del tiempo; en segundo lugar, la información que recaba se usa para enriquecer al módulo histórico.

El objetivo del agente E-comercio es promover la venta de productos agrícolas a través de Internet y puede también ayudar al agricultor en la compra de materia prima por esa misma vía. Los agentes E-comercio constan de una unidad de inteligencia para usar la información de mercado almacenada en el módulo histórico, a fin de decidir si cada acción de compra o venta es rentable para el agricultor.

El agente de logística tiene como objetivo apoyar al agricultor en lo que concierne a las decisiones relativas a la planeación y control de la circulación y almacenamiento eficientes de materias primas, productos intermedios y finales desde el punto de origen al de consumo, así como a cumplir con requisitos de desempeño específicos, al tiempo que se hace frente a las restricciones (Berlo van, 1993; Folinas *et al.*, 2003; Biere, 2001). Las condiciones de desempeño conciernen al costo y calidad del producto, la cobertura de la

- 2) Graphical User Interface (GUI), through which the operator monitors and commands the process.
- 3) Automation Agents for Decision Support System.

The AADSS functions, provided by most of the commercial SCADA products, are: storage of info to historical modules, statistical data processing, formulation of reports, and alarm management. The Automation Agents presented in the previous sections will utilize the network communication, collection, registration, depiction and data process capabilities provided by modern SCADA. For example, the data level of the DAI-DEPUR architecture will be implemented by the data processing unit of the SCADA system, while the alarm management operation performed by the supervisory level of the DAI-DEPUR architecture will be supported by the alarm handling unit of the SCADA system. Besides communication of Automation Agents with the human-operator will take place via the graphical user interface of SCADA system. The embedment of the Automation Agents in SCADA systems is achieved using the latest technology of modern software tools, supported by most of modern commercial SCADA programs, like the OPC (OLE for Process Control) that allows bilateral real time data transfer between different types of equipments, as well as established standards of object-oriented communication between heterogeneous applications of Windows operating systems, like COM and ActiveX. The embedment of Automation Agents into SCADA systems is presented (Figure 1).

RESULTS AND DISCUSION

Hop industry case study

An implementation of the proposed scheme will take place within a framework of a running research project for a case study in a hop industry.

Hops are one of the four main ingredients (malt, yeast, water) in the brewing industry which influence directly a hop demand. Main functions of hops are to give beer a distinctive aroma and to provide bitterness to a final beer. Adding different hop varieties to the wort kettle produces the typical beer aromas.

The hop industry must establish its informative and useful information system due to the following reasons: 1) hops are a classic internationally agricultural traded commodity, one of the few internationally traded goods bought and sold on world markets without any major economic restrictions, that is on the real basis of supply and demand; 2) the demands on production techniques, varieties, quality and preparation of export producing hops is changing constantly (Pavlovic *et al.*, 2003; Pavlovic and Koumboulis, 2004). For the sake of international character of hops as well as stakeholders' initiatives, the International Hop Growers' Convention (IHGC) with 27 companies and organisations from 19 countries took over an initiative in 2006 to improve

demanda del mercado, el aprovechamiento óptimo del equipo de procesamiento y la zona de cultivo, etcétera. Las restricciones tienen que ver con la capacidad de almacenamiento, el periodo máximo de almacenamiento permitido, la capacidad de cultivo disponible y la capacidad de procesamiento, etcétera. La planeación proporcionada por el agente de logística debe tener en cuenta los cambios del tiempo y factores variables, como las condiciones climáticas y la demanda del mercado. El agente de logística debe incluir a toda la cadena logística al incorporar la agricultura, la industria de procesamiento y el mercado, como lo propone Berlo van (1993); en este caso, el SATD debe comunicarse con sistemas de información correspondientes de la industria de procesamiento y los sectores de mercado, a fin de obtener la información requerida.

Agentes de automatización incrustados en sistemas SCADA

La implementación de agentes de automatización debería satisfacer ciertas especificaciones funcionales, como comunicación interactiva, procesamiento en tiempo real y precisión de cálculos. Para lograr dichos objetivos, el desarrollo del software de los agentes de automatización se basa, según Koumboulis y Tamatzí (2005), en estándares internacionales para arquitectura abierta, que garantizarán la incrustación del software en diversos productos SCADA. Estos sistemas son Sistemas de Información modernos con capacidades internas de comunicación en red que se han utilizado extensivamente en la industria moderna. Los subsistemas de un sistema SCADA son:

- 1) Comunicación bilateral con el proceso: adquisición de datos a partir de sensores y transmisión de comandos a través de accionadores adecuados,
- 2) Interfase gráfica para el usuario (**Graphical User Interface, GUI**), con el que el operador monitorea y controla el proceso.
- 3) Agentes de automatización para el Sistema de ayuda a la toma de decisiones.

Las funciones del AASATD proporcionadas por la mayoría de los productos comerciales SCADA, son: almacenamiento de información para los módulos históricos, procesamiento de información estadística, formulación de reportes, y manejo de alarmas. Los agentes de automatización presentados en las secciones previas van a emplear las capacidades de comunicación en red, recolección, registro, representación y procesamiento de datos proporcionados por el SCADA moderno. Por ejemplo, el nivel de información de la arquitectura del DAI-DEPUR se va a implementar mediante el procesamiento de datos del sistema SCADA, mientras que el funcionamiento del manejo de alarma desempeñado por el nivel de supervisión de la arquitectura del DAI-DEPUR se va a apoyar mediante la unidad de manejo de alarma del sistema SCADA. Por otra parte, la comunicación de los agentes de automatización con el operador humano se llevará a cabo vía la interfase gráfica para el usuario del sistema SCADA. La incrustación de los agentes de automatización en los sistemas SCADA se logra al utilizar la tecnología más reciente de las herramientas modernas de software con el apoyo de la mayoría

the information management for a benefit of its members (Figure 2).

Furthermore, there will also be benefits for the brewing industry. The seven largest breweries (InBev, 12.6%; SABMiller, 11.0%; Anheuser-Busch, 10.9%; Heineken, 7.4%; Carlsberg, 3.0%; Molson-Coors, 3.0%; Modelo, 2.9%) produced more than 50% of the world beer in 2005, but there are many small scale breweries that may benefit from the AADSS model information results. Regardless the size of a brewing company, the product principles as well as the objectives regarding technology and purchasing are more or less the same: to use raw materials as economically as possible in the brewing process (Pavlovic *et al.*, 2006).

CONCLUSIONS

The proposed Automation Agents are generalised tools applicable to any agribusiness, but the implementation of these Agents should be strongly directed to specific plants or families of plants. The proposed AADSS is particularly suited for large agricultural production units, since for small units the decision making process is significantly easier. Of special interest are farms with several plots of different crops, where the global farm resources have to be appropriately distributed among the plots, as well as farms simultaneously coordinated, as is the case of agricultural cooperatives.

The proposed Agents may contribute to farmers' education, to early correct fault diagnosis and incorporation of modern agricultural techniques, to process historical data taking into account several factors in order to support decision making, and to support

de los programas comerciales SCADA modernos, como OPC (OLE para control de procesos) que permite la transferencia bilateral de datos en tiempo real entre diferentes tipos de equipos, así como estándares establecidos de comunicación orientada al objeto entre aplicaciones heterogéneas de los sistemas operativos de Windows, como COM y ActiveX. La incrustación de agentes de automatización en los sistemas SCADA se muestra en la Figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso de estudio de la industria del lúpulo

Se pondrá en práctica el esquema propuesto en el marco de un proyecto de investigación en curso para un caso de estudio en una industria del lúpulo.

El lúpulo es uno de los cuatro ingredientes principales (malta, levadura, agua) en la industria cervecera, lo que influye directamente en la demanda de éste. Las funciones principales del lúpulo consisten en que confiere un aroma característico a la cerveza, además de dotarla de un sabor amargo. La añadidura de distintas variedades de lúpulos al hervidor de mosto es lo que produce los aromas típicos de la cerveza.

La industria del lúpulo debe establecer su propio sistema de información instructivo y útil debido a las siguientes razones: el lúpulo es una mercancía agrícola clásica comercializada internacionalmente; uno de los pocos artículos comercializados internacionalmente que se compran y venden en mercados mundiales sin mayores restricciones económicas, es decir, en un marco real de oferta y demanda; 2) las demandas sobre las técnicas de producción, variedades, calidad y preparación de la producción de los lúpulos para exportación están en cambio continuo (Pavlovic *et al.*, 2003;

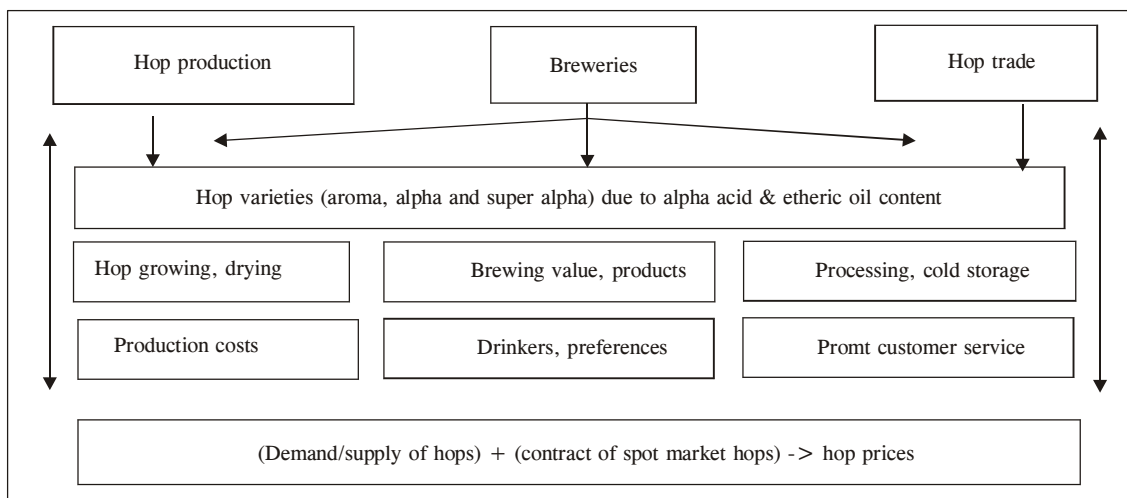


Figure 2. Quality and business circle in a hop industry.
 Figura 2. Circuito comercial y de calidad en una compañía cervecera

the farmer in e-commerce activities. The incorporation of Automation Agents in DSS will contribute considerably in the decongestion of the responsibilities of the farmer. Thus farmers are assisted to focus on higher level operations like production planning and commerce. Besides, production costs are decreased, as the performance criteria can be achieved in a more precise manner and with less human effort. Finally, the environmental protection may benefit significantly since the proposed agents will contribute to a better exploitation of natural sources, as well as energy saving. The implementation of the Automation Agents is based on open architectures, so as to give the capability of integration in a crowd of commercial SCADA systems, fact that simplifies significantly the development and implementation procedure of the Automation Agents. What is more, the graphical user interface of SCADA systems provides a user friendly environment that will increase the farmers' acceptance.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper has been funded by the running Eureka Project E! 3219 - AADSS, EU.

LITERATURE CITED

- Abdon, B. R., and R. T. Raab. 2004. Knowledge sharing and distance learning for sustainable agriculture in the Asia Pacific Region: The role of Internet. New directions in a diverse planet. Proc. of the 4th Int. Crop Science Congress, Brisbane, Australia, Sept. 26. - 10. Oct. 2004. [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/](http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/)
- Berlo van, J.M. 1993. A decision support tool for the vegetable processing industry; an integrative approach of market, industry and agriculture'. Agric. Systems 23: 91-109.
- Biere, A.W. 2001. Agribusiness logistics: An emerging field in agribusiness education'. In: IAMA World Food and Agribusiness Symposium. Sydney, Australia, 27. June, 2001. http://www.ifama.org/conferences/2001Conference/Papers/Area%20I/Biere_Arlo.PDF
- Folinas, D., M. Vlachopoulou, V. Manthou, and B. Manos. 2003. A web-based integration of data and processes in the agribusiness supply chain. EFITA 2003 Conference. Debrecen, Hungary: 143-149.
- Koumboulis, F. N., and M. P. Tzamtzi. 2005. Automation Agents Embedded in Industrial Decision Support Systems. In: International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce - IAWTIC'2005. Vienna, Austria. pp: 51-57.
- Lambert, M., B. Riera, and G. Martel. 1999. Application of functional analysis techniques to supervisory systems. Reliability Eng. & System Safety 64: 209-224.
- McCown, R. L. 2002. Changing systems for supporting farmers decisions: Problems, paradigms, and prospects. Agric. Systems 74: 179-220.
- Mira da Silva, L., J. R. Park, J. D. H. Keatinge, and P. A. Pinto. 2001. A decision support system to improve planning and management in large irrigation schemes. Agric. Water Manag. 51: 187-201.
- Parrott, L., R. Lacroix, and K. M. Wade. 2003. Design considerations Pavlovic and Koumboulis, 2004). Por el bien del carácter internacional de los lúpulos así como de las iniciativas de los involucrados, la Internacional Hop Growers' Convention (IHGC) junto con 27 empresas y organizaciones de 19 países lanzaron una iniciativa en 2006 con el fin de mejorar el manejo de información en provecho de sus miembros (Figura 2).
- Además, también traerá beneficios a la industria cervecera. Las siete cervecerías más importantes (InBev, 12.6%; SABMiller, 11.0%; Anheuser-Busch, 10.9%; Heineken, 7.4%; Carlsberg, 3.0%; Molson-Coors, 3.0% Modelo, 2.9%) produjeron más de 50% de la cerveza en el mundo en 2005, pero existen muchas cervecerías a pequeña escala que podrían beneficiarse de los resultados de información del modelo AASATD. Independientemente del tamaño de la compañía cervecera, tanto los principios del producto como los objetivos que conciernen a la tecnología y la compra son más o menos los mismos: utilizar materias primas tan económicas como sea posible en el proceso de fabricación de la cerveza (Pavlovic *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Los agentes de automatización propuestos son herramientas generalizadas aplicables en cualquier agroindustria, pero su implementación debería estar fuertemente dirigida a plantas específicas o a familias de plantas. El AASATD propuesto se adapta principalmente a unidades de producción extensas, dado que en el caso de las pequeñas el proceso de toma de decisiones es significativamente más sencillo. Las granjas con diversas parcelas de distintos cultivos, en donde los recursos agrícolas tienen que distribuirse apropiadamente entre las parcelas, son de gran interés, al igual que aquellas coordinadas simultáneamente, como en el caso de las cooperativas agrícolas.

Los agentes propuestos pueden contribuir a la educación de los agricultores, a la corrección oportuna de fallas de diagnóstico y a la incorporación de técnicas agrícolas modernas, al procesamiento de información histórica tomando en cuenta diversos factores a fin de apoyar la toma de decisiones, así como a brindar apoyo a los agricultores en actividades de E-comercio. La incorporación de agentes de automatización en SATD puede contribuir considerablemente a disminuir las responsabilidades de los agricultores. De esta manera, los agricultores reciben ayuda para centrarse en funciones más importantes como la planeación de la producción y el comercio. Además, los costos de producción pueden disminuir si el criterio de desempeño se realiza de manera más precisa y con menos esfuerzo humano. Finalmente, la protección ambiental puede ser muy benéfica dado que los agentes propuestos pueden contribuir

- for the implementation of multi-agent systems in the dairy industry. *Computers and Electronics in Agric.* 38: 79-98.
- Pavlovic, M., F. N. Koumboulis, M. P. Tzamtzi, and D. A. Karras. 2003. Model of information management and data exchange on a global hop supply. *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Intelligent Information Technology in Agriculture*. Beijing, China, pp. 20-23.
- Pavlovic, M., and F. M. Koumboulis. 2004. Methodology of an IHGC Market Supply Data Collation. *Hop Bull.* 11: 17-24.
- Pavlovic, M., X. Luo, I. J. Kosir, M. Virant, and F. Gu. 2006. Expansion of the Chinese hop and brewing industry. *Hop Bull.* 13: 61-69.
- Recio, B., F. Rubio, and J. A. Criado. 2003. A decision support system for farm planning using AgriSupport II. *Decision Support Systems* 36: 189-203.
- Sanchez, M., U. Cortes, J. Lafuente, I. R. Roda, and M. Poch. 1996. DAIDEPUR: An integrated and distributed architecture for waste-water treatments plants. *Artificial Intelligence in Eng.* 1: 275-285.
- Thangavadivelu, S., and T. S. Colvin. 1997. Fuzzy-Logic-Based decision support system for scheduling tillage operations. *Eng. Applications of Artificial Intelligence* 10: 463-472.
- Welch, S. M., J. W. Jones, M. W. Brennan, G. Reeder, and B. M. Jacobson. 2002. PCYield: Model-based decision support for soybean production. *Agric. Systems* 74: 79-98.

a una mejor explotación de los recursos naturales, así como al ahorro de energía. La implementación de los agentes de automatización se basa en arquitecturas abiertas, lo que les confiere la capacidad de integrarse a una multitud de sistemas comerciales SCADA, hecho que simplifica enormemente el procedimiento de desarrollo e implementación de dichos agentes. Aunado a ello, la interfase gráfica para el usuario del sistema SCADA proporciona un ambiente amigable que hará que el agricultor lo acepte con más facilidad.

—Fin de la versión en Español—

