

Estudio de los sistemas de apoyo a la decisión en el ámbito de la viticultura de precisión

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Investigación, en Ingeniería y Arquitectura
Especialidad en Tecnologías Informáticas y de Comunicaciones
Centro Universitario de Mérida
Universidad de Extremadura

Autor: Miguel Ángel Martín Tardío

Directores:		
Luis Arévalo Rosado <i>Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos Universidad de Extremadura</i>	Guadalupe Ortíz Bellot <i>Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos Universidad de Cádiz</i>	Julia Marín Expósito <i>Departamento de Química Analítica y Electroquímica Universidad de Extremadura</i>

Resumen: La viticultura de precisión es un concepto que está comenzando a tener cada vez mayor impacto en el sector vitivinícola, cuyos objetivos son manejar adecuadamente la variabilidad inherente a los cultivos, incrementar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental. Su aplicación práctica depende de diversos avances tecnológicos como redes inalámbricas de sensores y Web de sensores, monitores de rendimiento de la cosecha, sistemas de información geográfica y sistemas de posicionamiento global, equipos y maquinaria de aplicación de tasa variable y sistemas de análisis e interpretación de datos. Este trabajo contiene una revisión del estado del arte de aquellas iniciativas en el ámbito de la investigación dirigidas al diseño y desarrollo de sistemas de apoyo a la decisión implementados como una aplicación en tiempo real, centrándose en aquellas basadas en una arquitectura orientada a servicios. Estos sistemas deben proporcionar una ayuda al viticultor y/o enólogo en la toma de decisiones sobre cuestiones como la aplicación de insumos, control del riego, monitorización del estado de la cosecha de uvas, análisis de variabilidad en una misma parcela y/o control de plagas y enfermedades.

Palabras clave: viticultura de precisión, sistemas de apoyo a la decisión, sensores Web, redes inalámbricas de sensores, variabilidad espacial, servicios Web, arquitectura orientada a servicios.

Índice

1. Introducción	3
2. La Viticultura de Precisión.....	4
2.1. Definiciones previas	4
2.2. ¿Qué es la Viticultura de Precisión?.....	5
2.3. Líneas de investigación.....	7
3. Monitorización de viñedos: Redes inalámbricas de sensores.....	8
3.1. Introducción.....	8
3.2. ¿Qué es una Red inalámbrica de sensores?	8
3.3. Redes de sensores para viticultura	9
3.3.1. Registro y tratamiento de datos recopilados por sensores	13
3.3.2. Web de sensores y Sensor Web Enablement.....	13
3.4. Conclusiones	18
4. Sistemas de apoyo a la decisión	18
4.1. ¿Qué son los Sistemas de apoyo a la decisión?	18
4.1.1. Breve repaso histórico	18
4.1.2. Tipología y marcos de trabajo de los sistemas de apoyo a la decisión	20
4.2. Sistemas de apoyo a la decisión aplicados a la agricultura y viticultura	21
4.2.1. Consideraciones generales.....	21
4.2.2. Consideraciones en el ámbito de la precisión.....	24
4.2.3. Experiencias no basadas en Web	27
4.2.4. Sistemas de apoyo a la decisión basados en Web	27
4.3. Conclusiones	39
5. Conclusiones y trabajos futuros	40
6. Material complementario	42
6.1. Mapas conceptuales de apoyo a la realización del trabajo.....	42
6.2. Listado de acrónimos más utilizados	43
7. Referencias	45

1. Introducción

Tradicionalmente, las prácticas agrícolas se han venido realizando de manera uniforme. Es decir, las labores, las semillas, los fertilizantes y los productos fitosanitarios se aplican con igual intensidad o idéntica dosis independientemente de la localización considerada dentro de la parcela. Sin embargo, la cosecha que se obtiene en muchos cultivos suele presentar una *variación espacial intraparceldaria* considerable, y por tanto, una cierta discordancia entre la actuación agronómica homogénea que se realiza a nivel de parcela y la cosecha obtenida. Esto hace suponer que esas actuaciones, bien por defecto, bien por exceso, no se adecúan a la potencialidad real de las distintas áreas o zonas (localizaciones) dentro de la misma parcela. Así, una consecuencia lógica es la aparición de problemas diversos como mayores costes de los tratamientos, pérdidas de cosecha o acciones desfavorables sobre el medio ambiente.

Los objetivos principales de la **Viticultura de Precisión (VP)** coinciden especialmente con los de la **Agricultura de Precisión (AP)**, es decir: manejar adecuadamente la variabilidad inherente a los cultivos, incrementar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental (Sudduth, 1999). De acuerdo con ellos, con motivo de la celebración en Australia de la 11ª Conferencia de la industria vitivinícola en ese país (2001), las palabras traducidas de Jonathan Shearer resumen perfectamente las expectativas depositadas en la VP: “La viticultura de precisión puede convertirse en una herramienta muy útil en el futuro. Los viticultores deben ser capaces de usar la viticultura de precisión para la evaluación de la eficacia de los programas de manejo que implementan en sus viñedos, para la comprensión y la posible reducción de la variabilidad espacial de la cosecha y, en definitiva, para la obtención de una uva de mejor calidad en el contexto de un proceso productivo respetuoso con el medio y eficiente económicamente” (Arnó, 2008). Actualmente, la investigación de estas técnicas presenta diversas prioridades que pueden concretarse en: economía ambiental, métodos de evaluación de la calidad de la producción y nuevas tecnologías para la monitorización de los cultivos (Arnó et al., 2009).

La evolución actual y futura de las tecnologías de sensores permitirá a los agricultores vigilar de cerca y controlar muchos aspectos de la producción agrícola. Los sensores locales y remotos pueden proporcionar la información necesaria para realizar una gestión precisa de los cultivos relativa a rendimiento, nutrientes y necesidad de humedad, sanidad de las plantas, etc. Hoy por hoy, los métodos y las tecnologías utilizadas para la obtención de información de los cultivos incluyen sensores de campo electrónicos, medidores de radio-espectro, visión artificial, imágenes aéreas multispectrales y teledetección hiperespectral (sensores remotos), imágenes por satélite e imágenes térmicas entre otras (Lee et al., 2010). Pero entre todos ellos, destacan las **redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Network, WSN)** y los sensores basados en Web (basado en estándares del Open GIS Consortium (OGC)¹), por las oportunidades que ofrecen para la VP.

Los **sistemas de apoyo a la decisión (Decision Support System, DSS)** son sistemas informáticos, que ayudan al usuario final en la resolución de problemas complejos y/o en la toma de decisiones, proporcionando para ello una salida orientada a un razonamiento cuantitativo. Esta orientación diferencia a los DSS de otras herramientas utilizadas para la toma de decisiones como los **sistemas expertos (Expert System, ES)**, más orientados a un

¹<http://www.opengeospatial.org/standards>

razonamiento cualitativo equivalente al de una persona experta o especialista en un dominio determinado (Newman et al., 2000). Sin embargo, la línea que separa a estos ES de los DSS basados en el conocimiento, y que se describirán más adelante no parece ser tan clara como para encontrar una distinción entre ellos en determinadas ocasiones. La aplicación de DSS en el ámbito de la agricultura y viticultura ha alcanzado sus mayores hitos en países como EE.UU., Australia, Nueva Zelanda o España, como así lo demuestran las iniciativas y trabajos puestos en marcha durante los últimos años.

El objetivo principal de este trabajo consiste en revisar el estado del arte de aquellas iniciativas en el ámbito de investigación dirigidas al diseño y desarrollo de DSS basados en una **arquitectura orientada a servicios (Service Oriented Architecture, SOA)**, en el ámbito de la VP concretamente. Se trata de adquirir una visión de conjunto sobre las ideas aplicadas, y determinar si existe un futuro nicho de investigación en esta materia.

La estructura de la memoria resultante es la siguiente: En la sección segunda se describen una serie de conceptos previos que permiten comprender mejor el significado e importancia de la VP, incluyendo una visión general de las líneas de investigación en este campo. A continuación, nos centramos en la monitorización de cultivos, especialmente en las técnicas de WSN y sensores basados en Web. El apartado cuarto describe los DSS, que incluye un breve repaso histórico y la tipología existente. La sección siguiente se centra en los DSS basados en Web, incluyendo una revisión de los trabajos más importantes y con especial atención a los desarrollados en base a SOA en el ámbito de la VP. Para terminar, se recogen una serie de conclusiones y el autor propone tres futuras iniciativas como trabajos de investigación en este campo.

2. La Viticultura de Precisión

2.1. Definiciones previas

Según recoge Arnó (2008), los objetivos y la filosofía de la **AP** se resumirían como: *“Hacia una agricultura sostenible económica y ambientalmente”*.

La **variabilidad espacial intraparcelaria** se atribuye principalmente a un conjunto de múltiples factores, principalmente los relacionados con las propiedades físicas del suelo y no tanto con sus propiedades químicas que condicionan de manera importante la respuesta diferencial del cultivo, y por tanto, el resultado de la cosecha (Plant, 2001). Otros factores a considerar son la topografía de la parcela, el estado nutritivo de las cepas y la posible afectación de parámetros adversos o estado sanitario del cultivo (Arnó, 2008). La AP puede ofrecer algunas respuestas sobre las causas concretas que originan dicha variabilidad o las posibles interacciones entre los factores del medio y el cultivo.

La forma de entender y aplicar la AP podría resumirse en tres fases a partir del denominado ciclo de la AP (McBratney y Whelan, 2001) (Fig. 1):

- 1) Obtención de información georreferenciada a nivel local mediante el uso de sensores (Crop, Soil & Climate Monitoring).
- 2) Análisis de los datos obtenidos mediante un sistema adecuado de tratamiento de la información (Attribute Mapping, Decision Support Systems).
- 3) Ajuste de las cantidades aplicadas (fertilizantes, fitosanitarios, etc.) mediante maquinaria de actuación variable (modulación) según las necesidades de cada localización (Differential Action).

Por tanto, partiendo de la monitorización de la cosecha y de otras variables de suelo y/o del cultivo, el usuario logra recabar una información sistemática y georreferenciada sobre la variabilidad de sus parcelas. Una vez analizada toda esta información, la aplicación de un cierto insumo o la realización de una determinada práctica agronómica se podrá llevar a cabo de manera diferencial dentro de la parcela, también conocida como **manejo sitio-específico del cultivo (Site-Specific Crop Management, SSCM)** (Plant, 2001), atendiendo a las indicaciones del mapa de actuación y del plan operativo correspondiente (Taylor, 2004).

El ciclo de la AP (Fig. 1) implica la utilización de tecnologías muy diversas (Sudduth 1999), en mayor o menor grado, como **sistemas de posicionamiento global (Global Position System, GPS o DGPS)**, sensores locales y remotos, **sistemas de información geográfica (Geographic Information System, GIS)**, DSS y maquinaria de actuación variable (modulación). La utilización de toda esta tecnología proporciona los datos necesarios para la investigación de la oportunidad del SSCM (McBratney y Whelan, 2001).

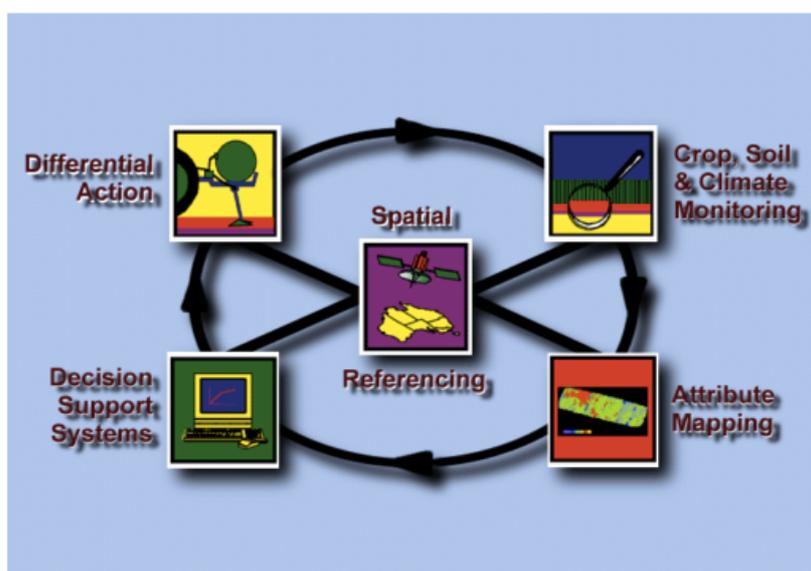


Figura 1. Concepto y ciclo de la AP (McBratney y Whelan, 2001).

Además, la ciclicidad del proceso proporciona una ventaja final al sistema en forma de experiencia adquirida de las campañas anteriores, que se añadirá a la información recogida durante la nueva campaña (Sudduth, 1999). En definitiva, la AP no es más que la conversión de datos en decisiones (McBratney y Whelan, 2001), traduciéndose todo ello en menores costes operativos, mayores rendimientos y una mejor calidad (Domínguez, 2004).

2.2. ¿Qué es la Viticultura de Precisión?

La concepción tradicional de la viticultura está basada en el **Terroir**, término francés que se emplea para indicar que la calidad en la producción final del vino depende directamente de la situación geográfica de la parcela, y por tanto, de las condiciones que se dan en la misma (suelo, clima, topografía) y sus efectos sobre el desarrollo del cultivo de la vid. Los trabajos de investigación en el campo de la aplicación de las nuevas tecnologías a la viticultura, han puesto de manifiesto el interés por los estudios de la variabilidad a nivel de parcela (Taylor, 2004; Montero et al., 2008), para llevar a cabo con solvencia un manejo adecuado por la existencia de zonas diferenciadas.

Los objetivos principales de la VP coinciden especialmente con los de la AP, es decir: manejar adecuadamente la variabilidad inherente a los cultivos, incrementar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental (Sudduth, 1999). De acuerdo con ellos, con motivo de la celebración en Australia de la 11ª Conferencia de la industria vitivinícola en ese país (2001), las palabras traducidas de Jonathan Shearer resumen perfectamente las expectativas depositadas en la VP: “La viticultura de precisión puede convertirse en una herramienta muy útil en el futuro. Los viticultores deben ser capaces de usar la viticultura de precisión para la evaluación de la eficacia de los programas de manejo que implementan en sus viñedos, para la comprensión y la posible reducción de la variabilidad espacial de la cosecha y, en definitiva, para la obtención de una uva de mejor calidad en el contexto de un proceso productivo respetuoso con el medio y eficiente económicamente” (Arnó, 2008).

La primera aplicación de los principios y técnicas propias de la AP en viticultura se registran durante el año 1999, tanto en Australia (Bramley y Proffitt, 1999) como EE.UU. (Wample et al., 1999), motivado por la aparición de un incipiente mercado de sensores y monitores de cosecha instalables en vendimiadoras, que permiten medir la variabilidad intraparcularia con un mayor nivel de detalle. A partir de esta posibilidad, la aplicación diferencial de los insumos y la vendimia selectiva a nivel de parcela son estrategias productivas que pueden reportar importantes beneficios a los viticultores (Arnó et al., 2009).

Para una aplicación efectiva de las prácticas de la AP en viticultura, el cultivo de la vid debe cumplir tres condiciones (Plant 2001; Bramley y Hamilton 2004):

- 1) que exista una estabilidad temporal del patrón de variabilidad espacial,
- 2) que se identifiquen las causas de esa variabilidad, y
- 3) que esas causas puedan ser tratadas dentro de la parcela de manera diferenciada.

Existen dos razones principales que justifican la idoneidad del viñedo para el cumplimiento de las mismas. En primer lugar, al ser un cultivo en línea y con una distancia fija de plantación, los puntos de muestreo pueden asociarse a cepas concretas y georreferenciarse fácilmente, obteniéndose series históricas de datos año tras año. Y por otro lado, su carácter perenne hace pensar que la variación espacial de la cosecha mantendrá un cierto patrón de comportamiento de un año para otro, característica esencial si se pretende ejecutar algún tipo de actuación diferencial dentro de la parcela o SSCM (Arnó et al., 2009).

Bramley y Lamb (2003) estiman que el coste adicional que supone la adopción de esta tecnología, para un período de cinco años, se puede cifrar entre el 0,5% y el 2% del valor percibido por la cosecha. Según Arnó (2008), estos resultados han extendido la idea que la AP en España tiene sus mejores expectativas en los denominados cultivos de alta rentabilidad, como es el caso de la uva para vinificación. Sin embargo, no es concluyente que la inversión en estas tecnologías sea rentable en términos de coste/beneficio económico y ambiental (Plant 2001; Murakami et al., 2007).

Recientes investigaciones en el ámbito de la AP (VP) indican que la adopción de estas técnicas hasta hoy ha sido reducida, y que incluso ha disminuido desde la mitad y finales de la década de 1990. Lamb et al. (2007) y Murakami et al. (2007) incluyen entre las posibles razones, el coste de las tecnologías implicadas, las de naturaleza educacional como las propias reticencias de los agricultores a los cambios tecnológicos y las relacionadas con el ámbito de la tecnología como la falta de: tiempo para el aprendizaje en el uso de equipamiento y software, habilidades tecnológicas, experiencia de los productores y la propia industria, análisis de los

datos obtenidos para su transformación en decisiones, expertos en el ámbito local, datos obtenidos en formato común, análisis de datos de rendimiento para limitar los factores de producción, mantenimiento en la calidad de los datos o investigaciones básicas en las relaciones entre el suelo y rendimiento. Lamb et al. (2007) coinciden en señalar que el vacío existente entre los investigadores y los agricultores ha propiciado un cierto distanciamiento (desconfianza) del sector productivo, que añadido a la escasez de consultores capaces de ofertar asesoramiento sobre estas nuevas tecnologías, ha provocado una situación de estancamiento más que evidente.

Para Arnó (2008) la solución no parece fácil, y destaca que el mayor obstáculo posiblemente se encuentra en una actitud conservadora de muchos agricultores a partir de la idea preconcebida de que estas técnicas sólo son posibles en las grandes explotaciones. Por otro lado, Lamb et al. (2007) consideran que el desarrollo de estas nuevas tecnologías se ha debido más a una iniciativa de las empresas que a la demanda real de los agricultores, y que ha excedido su capacidad para comprender y aplicar de forma útil toda esta tecnología.

2.3. Líneas de investigación

La investigación en AP (VP) tiene todavía poco bagaje, que se demuestra por una escasa presencia de esta temática en las publicaciones científicas. Entre las principales fuentes de información destacan títulos de revistas científicas más generalistas en este ámbito como el *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, *American Journal of Enology and Viticulture*, *Australian Journal of Grape and Wine Research* o *Spanish Journal of Agricultural Research*; y más específicas en tecnología como *Computers and Electronics in Agriculture*, *Agricultural Information Research*, *Agricultural Systems*, *Applied Engineering in Agriculture* y *Precision Agriculture*. También cabe destacar la información procedente de dos congresos, el *International Conference on Precision Agriculture (EE.UU.)* desde 1992 y el *European Conference on Precision Agriculture* desde 1997, ambos de carácter bianual.

La corriente actual en la investigación de estas técnicas, presenta diversas prioridades que pueden concretarse en: economía ambiental, métodos de evaluación de la calidad de la producción y nuevas tecnologías para la monitorización de los cultivos (Arnó et al., 2009). Es precisamente en este último punto donde se centran los esfuerzos de este trabajo, cuyo objetivo principal es revisar el estado del arte de DSS en el ámbito de la VP (AP). Además, se incluye un apartado destacable sobre la monitorización de cultivos mediante sensores locales, por considerarse como principales fuentes de suministro de datos in-situ, para la toma de decisiones. En las siguientes secciones se procede a la revisión de las principales experiencias relacionadas con lo comentado anteriormente, y el resto de puntos de interés en la investigación de este campo no son propósito del mismo.

3. Monitorización de viñedos: Redes inalámbricas de sensores

3.1. Introducción

La evolución actual y futura de las tecnologías de sensores permitirá a los agricultores vigilar de cerca y controlar muchos aspectos de la producción agrícola. Los sensores locales y remotos pueden proporcionar la información necesaria para realizar una gestión precisa de los cultivos relativa a: rendimiento, nutrientes y necesidad de humedad, volumen de follaje y biomasa, parámetros y condiciones del suelo, y sanidad de las plantas (incluyendo la detección de enfermedades, malas hierbas y plagas). Hoy por hoy, los métodos y las tecnologías utilizadas para la obtención de información de los cultivos incluyen sensores de campo electrónicos, medidores de radio-espectro, visión artificial, imágenes aéreas multispectrales y teledetección hiperespectral (sensores remotos), imágenes por satélite e imágenes térmicas, entre otras (Tisseyre et al., 2007; Burrell et al., 2004; Lee et al., 2010).

Este apartado del trabajo no pretende ser ninguna revisión exhaustiva sobre las tecnologías de sensores comentadas anteriormente, únicamente pretende servir como descripción general de las redes inalámbricas de sensores locales, muy extendidas y populares en la AP (VP) como fuente de datos. La principal motivación para incluir este apartado, proviene de las últimas experiencias en investigación para la interoperabilidad de estándares del OGC junto a una arquitectura software orientada a servicios para el desarrollo de sistemas de información agrícola (Nash et al., 2009).

3.2. ¿Qué es una Red inalámbrica de sensores?

Habitualmente, los agricultores e investigadores han obtenido los datos de los cultivos por ellos mismos empleando, por ejemplo, estaciones meteorológicas convencionales (Montero et al., 2008) para los datos ambientales pero resultan demasiado caras y grandes (Lee et al., 2010). También, el uso de sensores locales a bordo de maquinaria agrícola que incorporan sistemas de registros de datos se han utilizado para tales fines, pero los usuarios deben visitar estos lugares con frecuencia sólo para obtener y renovar los datos (Auernhammer et al., 2000; Moral et al., 2010). Resolver estos problemas es el objetivo principal para el desarrollo de las redes inalámbricas de sensores.

Según Lee et al. (2010), una WSN se compone de un conjunto de nodos distribuidos que contienen sensores y un dispositivo de comunicación inalámbrica que proporcionan datos en tiempo real. El tamaño de estos nodos sensores equipados con una caja estanca para su despliegue al aire libre, oscila entre los 10-20 cm de diámetro, a veces más con los postes para fijarlos al suelo, los paneles solares, baterías recargables y sensores externos. El desarrollo de micro-sensores de bajo consumo, procesadores embebidos y sistemas de transmisión inalámbricos está permitiendo el desarrollo de sistemas distribuidos aplicados entre otros muchos campos a la AP (Montero et al., 2008).

En la Fig. 2 se especifican las principales características para los tipos de dispositivos inalámbricos más empleados en WSN, que se caracterizan por el uso de la ondas de radio microondas en la banda de los 2.4 GHz para establecer la comunicación.

	ZigBee IEEE802.15.4	Bluetooth IEEE802.15.1	Wireless LAN IEEE802.11b/g/n
Frequency	2.4 GHz/915 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Baud rate	250 kbps	721 kbps/2.1 Mbps	11/54/300 Mbps
Power consumption	40 mW	100–400 mW	0.5–6 W
Communication range	100–300 m	10–100 m	100 m–30 km
Energy efficiency	6 Mbps/W	7–21 Mbps/W	22–50 Mbps/W

Figura 2. Especificación de dispositivos de comunicación inalámbrica (Lee et al., 2010).

En la actualidad se considera a Wi-Fi (IEEE802.11b/g/n) como la tecnología más idónea para redes de sensores en campo abierto (Hirafuji et al., 2009). Sin embargo, en su despliegue debe tenerse en cuenta que estas ondas de radio microondas son absorbidas fácilmente por las moléculas de agua y que no pueden atravesar obstáculos (o sí, pero con una gran pérdida de señal) tales como montañas, bosques, edificios y paredes metálicas. Por ello, los nodos sensores requieren de una línea de visión casi directa entre ellos para establecer la conexión (Lee et al., 2010). Por tanto, el diseño y funcionamiento de la red de sensores dependerá directamente de la orografía de la parcela.

3.3. Redes de sensores para viticultura

La VP demanda una intensiva adquisición de datos de manera frecuente y su interpretación puede ser la clave para comprender la variabilidad de la productividad. Uno de los mejores ejemplos para aplicar las redes de sensores es el campo de la producción vitivinícola, ya que es necesario controlar gran cantidad de parámetros (insolación, humedad y temperatura en los viñedos, humedad del suelo a diferentes niveles de profundidad) en zonas extensas en las que es difícil (y costoso) realizar tendidos de cable que además interferirían con las labores agrícolas (Montero et al., 2008).

En los últimos años, diversas investigaciones han puesto de manifiesto este interés por el despliegue de WSN en viticultura. A continuación se describen brevemente algunas de las más actuales.

Shanmuganthan et al. (2008) hacen una revisión de las experiencias con WSN que se combinan con GPS para la georreferenciación de la información obtenida, y observar cómo afecta el cambio climático al crecimiento de la vid y la calidad del vino en tres escenarios distintos. Incluye una propuesta de una WSN para modelar esos efectos del cambio climático en diferentes regiones, usando como datos de ejemplo los recopilados en viñedos de Chile y Nueva Zelanda, que son lugares con la misma latitud pero diferente longitud geográfica. En cada ubicación, los sensores que forman parte de la red se encargarán de medir los siguientes parámetros: temperatura, dirección y velocidad del viento, sensación térmica, humedad relativa, radiación solar, nivel de CO₂, nivel de precipitaciones, potencia calorífica de la radiación solar, presión atmosférica, humedad del suelo, temperatura del suelo, humedad de las hojas, flujo de savia, características dendrométricas y cromatografía de gases (detección de sustancias volátiles en la uva). Como puede verse en la Fig. 3, en cada uno de los viñedos, los nodos sensores de la WSN transmiten en tiempo real los datos a un repetidor, que a su vez los entregará a una estación de trabajo local que será la encargada de almacenarlos en un servidor de base de datos remoto a través de Internet, para su posterior análisis. Los datos enviados son georreferenciados mediante el uso de un sistema GPS de apoyo. Un servidor Web permitirá visualizar y comparar los resultados de los análisis sobre la variabilidad en el cambio climático de las tres regiones productoras de vino y variedades de uvas monitorizadas, a través de Internet.

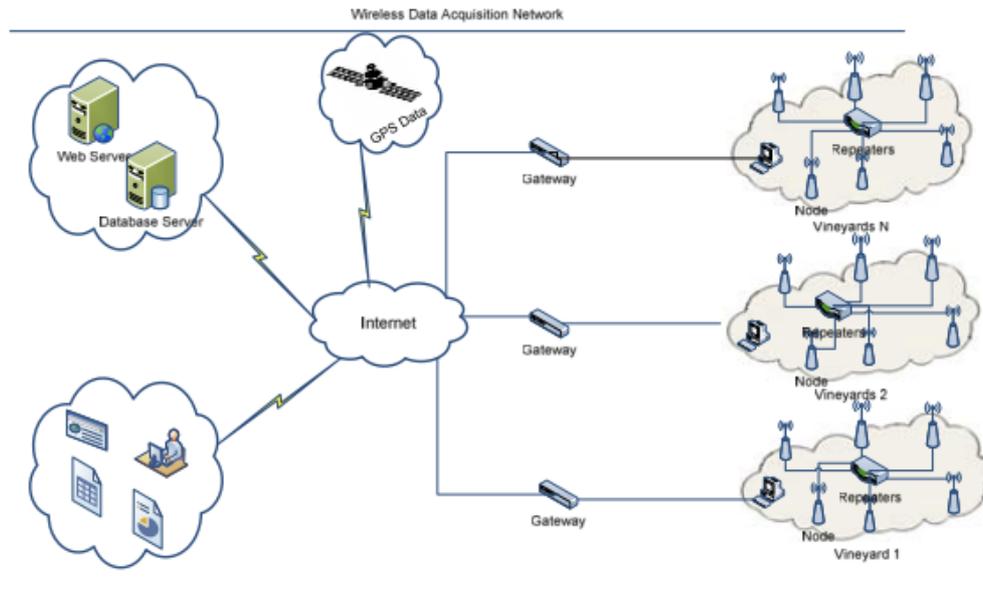


Figura 3. Diagrama esquemático del diseño una WSN para modelar la influencia del cambio climático en las condiciones ambientales, atmosféricas y climatológicas sobre la vid y la calidad del vino (Shanmuganthan et al., 2008).

Morais et al. (2008) describen los retos y esfuerzos para la introducción de la VP en la Denominación de origen Región del Douro (DRD) en Portugal (considerada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad y el vino con denominación más antiguo del mundo), una región que debido a sus características únicas, plantea retos muy específicos, principalmente por el perfil topográfico, pronunciadas variaciones climáticas y las características complejas del suelo. Con el fin de mejorar la cantidad y calidad de los productos vitivinícolas de la zona, proponen un conjunto de sensores que controlen los parámetros ambientales, climáticos y fisiológicos que necesitan los productores para una correcta toma de decisiones sobre sus viñedos. Para ello, presentan la arquitectura, el hardware y el software de una plataforma diseñada para tal fin, denominada MPWiNodeZ. Una característica importante de esta plataforma es su subsistema de administración de energía, capaz de recargar baterías con energía obtenida de su entorno de hasta tres fuentes. Esto permite que el sistema opere como un dispositivo inalámbrico de adquisición de datos de propósito general para teledetección, con cobertura de grandes áreas, donde la administración de energía de los dispositivos es siempre una preocupación. El MPWiNodeZ forma parte de una red tipo ZigBee, que se despliega como una amplia malla de dispositivos de adquisición de datos preparados para su implementación en los viñedos. Los datos recogidos por los nodos sensores para una zona de administración del viñedo (Vineyard Management Zone, VMZ) son enviados a un nodo de cabecera a través de la red ZigBee. Los nodos cabecera (Cluster Head, CH) hacen las funciones de intermediario (y de nodo coordinador de la red) entre la propia red y el sistema de base de datos y de administración, transmitiendo todos los datos recopilados para la VMZ mediante conexiones basadas en el protocolo de control de transmisiones/protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) a través de enlaces de comunicación móvil para sistemas globales (Global System for Mobile Communications, GSM) e IEEE 802.11. Todos los datos del viñedo podrán ser accedidos remotamente a través de Internet. Los datos recopilados por un CH particular también pueden ser accedido in-situ vía Bluetooth por un asistente personal digital (Personal Digital Assistant, PDA) (Fig. 4).

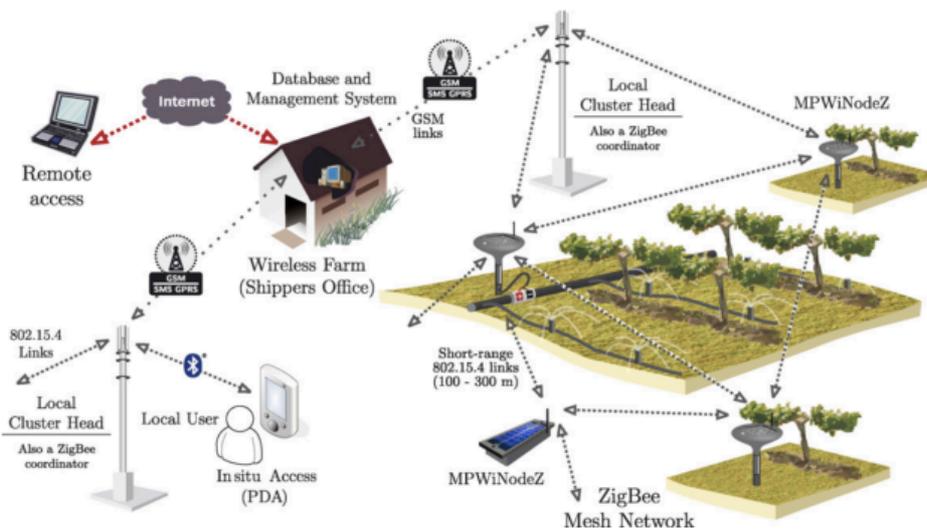


Figura 4. Red de adquisición de datos en el campo, basada en una red de dispositivos ZigBee MPWiNodeZ en un entorno de VP (Morais et al., 2008).

Mariño et al. (2008) proponen una experiencia con una red inalámbrica de sensores en la región de Galicia (España), en una zona cerca de la frontera norte de Portugal, donde los viñedos tienen cuatro zonas productivas principales denominadas: Meaño, Cambados, Ribadumia y Meis. Las diferencias en la productividad y la calidad de las uvas están ampliamente relacionadas con las alturas relativas y la proximidad al mar desde cada una de esas cuatro zonas, pero deben hacerse investigaciones biológicas y climáticas más rigurosas para proporcionar información precisa a modelos biológicos para una simulación aplicada a la viticultura ecológica. Para ello, cada zona tiene una estación electrónica zonal (Electronic Zone Station, EZS) para medir las diferencias (microclimas) respecto a temperatura, humedad relativa, temperatura del suelo, radiación solar, nivel de precipitaciones y otros sensores biológicos. Un registrador de datos y un módem de radio UHF están incluidos en cada EZS con el fin de detectar, procesar y transmitir los datos, permitiendo el desarrollo de una WSN donde los nodos son accesibles desde un área amplia. Estas capacidades de comunicación inalámbrica permiten que los datos puedan ser controlados de forma remota. Los datos adquiridos se almacenarán en una base de datos centralizada, el sistema gestor de base de datos se encargará del procesamiento de las consultas que se utilizarán para los modelos biológicos y ecológicos por los agentes de investigación correspondientes. En la Fig. 5 se pueden observar cómo se orquestan todo los componentes de esta arquitectura. La comunicación entre los nodos EZS y la estación base (Base Station, BS) se realiza a través de la banda libre para uso médico, científico e instrumental (Instrumental, Scientific, Medical band, ISM) de los 868-870 MHz. La BS sirve como intermediario entre los datos capturados por los EZS y el sistema gestor de base de datos remoto, empleando conexiones xDSL/GPRS para el acceso a Internet. Para ello, la base de datos presentará una interfaz con la BS por el que se recibirá toda la información del sistema, y tres interfaces específicas para el acceso a la información: de acceso general a los datos, de acceso a consultas específicas de datos para el análisis de característica de la viticultura y de acceso a consultas de datos para proporcionar diferentes paradigmas de modelos.

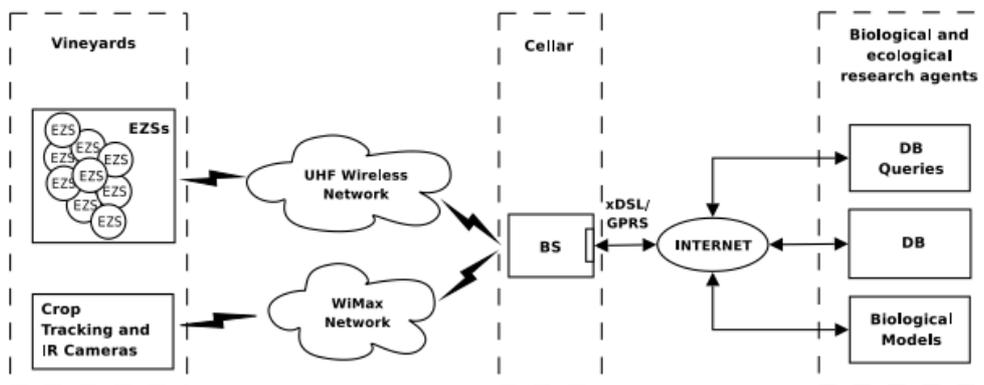


Figura 5. Arquitectura de red y interfaces de las bases de datos (Mariño et al., 2008).

Otro proyecto relativo a la aplicación de WSN en la VP, y que en la actualidad está desarrollándose en su segunda versión, es el proyecto WISEVINE/WISEVINE2². Los autores Montero et al. (2008) plantean un proyecto multidisciplinar con dos objetivos. Por un lado, desde un punto de vista agronómico, se propone la caracterización y seguimiento de la variabilidad agronómica de un viñedo mediante la monitorización de parámetros implicados en la producción de uva de calidad a través de una WSN. Y por otro, investigar aspectos de ingeniería informática necesarios para mejorar las prestaciones de operación de las WSN como parte de un sistema de información distribuido. Para ello, cuentan con dos parcelas de ensayo ubicadas en la región española de Castilla-La Mancha. El diseño de la red consta de veintidos puntos de muestreo en distintas zonas de la parcela (Fig. 6), para representar al máximo la variabilidad de los parámetros a monitorizar. Cada punto consta de sensores a tres niveles de altura: en la superficie del suelo, junto a la cepa; por debajo de la cubierta vegetal, próximo a los racimos; y en la parte superior de la cubierta vegetal. Para la validación y comparación de las mediciones de los sensores de la red inalámbrica experimental, se aprovecha la información suministrada por las estaciones agroclimáticas más próximas a las parcelas de muestreo que la Universidad de Castilla-La Mancha mantiene desplegadas desde 1994.



Figura 6. Vista aérea la disposición de los sensores (Montero et al., 2008).

² <http://www.wisevine.info/>

3.3.1. Registro y tratamiento de datos recopilados por sensores

Después de la adquisición de datos por parte de los nodos sensores de la WSN, se hace necesario un tratamiento adecuado de los mismos para facilitar al viticultor la toma de las decisiones oportunas en cada momento, que posibiliten el cumplimiento de los objetivos propios de la VP. Esta toma de decisiones, como se verá más adelante, puede estar asistida por un DSS. Este sistema puede nutrirse de fuentes de datos diversas y heterogéneas, por lo que sería ideal que los datos proporcionados tuvieran un formato común (estándar) para evitar costosas operaciones de pre-procesamiento, posibilitando la obtención de resultados lo más rápidamente posible. Esto facilitaría enormemente el desarrollo e integración de los sistemas de monitorización como WSN y los DSS en aplicaciones en tiempo real. Al respecto, actualmente se están celebrando debates para la integración y estandarización de datos en varios grupos de trabajo, como en el de Sensor Web Enablement del OGC³ y en el de sensores Web GEOSS del GEO⁴ (Group on Earth Observation, GEO) (Lee et al., 2010).

Tradicionalmente, los datos recopilados por los nodos sensores han sido registrados unas veces como archivos de datos binarios, otras como archivos de texto, o bien como registros de una base de datos. Sin embargo, algunos de estos archivos solían perderse a lo largo del tiempo, otros quedarse como información almacenada en un formato antiguo u obsoleto (legacy data), o bien dentro de un sistema informático de difícil acceso. Esto provocaba que otras aplicaciones que necesitaran procesarlos, no pudieran volver a leerlos si no venían acompañados de metadatos (información que sirve para describir la información contenida en los archivos de datos). Desde hace algunos años, el **lenguaje de marcado extensible**⁵ (**eXtended Markup Language, XML**) se ha convertido en un formato estándar de archivo común, legible por máquina, que permite a una aplicación leer el archivo de datos XML de otra aplicación de forma automática utilizando los metadatos XML (Lee et al., 2010).

XML se ha convertido en el estándar para el intercambio de datos por excelencia, que junto a la adopción de una SOA ha permitido el desarrollo de los **servicios Web (Web Service, WS)**. Los WS han abierto un nuevo abanico de posibilidades para proporcionar capacidades a las tecnologías para la interoperabilidad en la Web. A continuación, se definen de manera breve los dos conceptos anteriores, y se ponen de manifiesto, precisamente, diversas iniciativas para la integración de estas tecnologías en el campo de los sensores para la monitorización de cultivos.

3.3.2. Web de sensores y Sensor Web Enablement

¿Qué son los servicios Web y la arquitectura orientada a servicios?

Según el consorcio WWW⁶ (World Wide Web Consortium, W3C), los WS se definen como un conjunto de aplicaciones o tecnologías con capacidad para interoperar en la Web, que intercambian datos entre sí con el objetivo de ofrecerse unos servicios a otros. Los proveedores ofrecen sus servicios como procedimientos remotos y los usuarios solicitan un servicio llamando a estos procedimientos a través de la Web (W3C, 2010). También se pueden definir como un conjunto de tecnologías estándares de software para el intercambio de datos entre aplicaciones tales como el protocolo de acceso de objeto simple (Simple Object Access

³ <http://www.opengeospatial.org/>

⁴ <http://www.earthobservations.org/>

⁵ <http://www.w3.org/XML/>

⁶ <http://www.w3c.es/>

Protocol, SOAP), el lenguaje de definición de servicios Web (Web Service Definition Language, WSDL) y el registro universal de descripción, descubrimiento e integración (Universal Description Discovery and Integration, UDDI) (Huhns y Singh, 2005). Los WS se autodefinen utilizando XML, de forma que un cliente potencial puede determinar automáticamente qué operaciones ofrece y qué tipos de datos requiere para su invocación. Estos pueden estar desarrollados en una gran variedad de lenguajes e implementados sobre muchos tipos de redes de computadores. El éxito de la interoperabilidad se consigue gracias a la adopción de protocolos y estándares abiertos (Morales, 2010), y a una tecnología de red dominante que conecta a todos los componentes (incluidos servidores, clientes de escritorio y clientes móviles) a Internet a través de una conexión cableada o inalámbrica (Nash et al., 2009).

Una SOA es la arquitectura software más difundida en el mundo de los WS, creada y usada para diseñar modelos de negocio empaquetados como servicios. El desarrollo de sistemas usando SOA requiere un compromiso con este modelo en términos de planificación, herramientas e infraestructura. Por tanto, **¿qué se entiende por servicio?** Debe pensarse en ello como algo que se desea utilizar; por ejemplo, un servicio meteorológico que devolverá un informe de una zona geográfica al enviar el código postal, o los datos proporcionados por un sensor ubicado en una localización concreta de la parcela. En su forma más sencilla, un servicio es una función a la que se llama con unos datos y devuelve una respuesta. SOA se caracteriza por los conceptos de **modularidad** y **acceso remoto**: el primero se refiere a la organización de los servicios relacionados en un único módulo servidor compuesto por una interfaz que especifica los servicios que se proporcionan y contiene metadatos que definen cómo se comportan; y el segundo, a que deben funcionar en un ambiente de computación distribuida (Luckham, 2007).

Por otro lado, investigaciones recientes proponen escenarios de colaboración entre los WS y el **procesamiento de eventos complejos (Complex Event Processing, CEP)**. El procesamiento de eventos complejos se puede llevar a cabo a través de un conjunto definido de herramientas y técnicas, que permite analizar y controlar una serie compleja de eventos interrelacionados que emergen en sistemas de información distribuidos. También surge el concepto de **SOA dirigida por eventos (Event-Driven SOA, ED-SOA)**, donde se trata precisamente cómo organizar una SOA dirigida por eventos. SOA 2.0 como también se conoce en determinados entornos, se realiza mediante servicios que van a reaccionar y responder a eventos; además, la comunicación dentro de esa SOA se realizará también mediante eventos. La computación en tiempo real requiere eventos, y con CEP una empresa puede identificar patrones y tomar decisiones de forma inmediata. En Leavitt (2009), se afirma que dos han sido los avances tecnológicos que han impulsado la demanda de los sistemas CEP. Por un lado, las fuentes de datos como los sensores de bajo coste capaces de transferir información continua a las instalaciones centrales de análisis, y que se han incrementado y popularizado en los últimos años. Y por otro, la creciente importancia de las **arquitecturas conducidas por eventos (Event-Driven Architecture, EDA)** y SOA, que permiten la activación de servicios basada en la emergencia de eventos dentro del sistema. Así pues, CEP podría actuar como uno de los servicios prestados a través de una SOA (Luckham, 2007). Entre los principales tipos de escenarios donde se hace uso de CEP y SOA de manera conjunta, destaca el ámbito de la computación ubicua en tiempo real con diversos propósitos, donde intervienen principalmente una red de sensores inalámbricos (WSN) y/o la identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification, RFID) para desencadenar flujos de eventos que son capturados por WS y enviados a motores CEP para su monitorización y análisis.

Web de sensores o redes de sensores basados en Web

Un **nodo sensor basado en Web** se trata de un nodo convencional que además incluye un WS. Otras aplicaciones informáticas como los “agentes” pueden acceder a los sensores basados en Web para recopilar datos obtenidos por los mismos, y almacenarlos en un servidor Web convertidos en archivos XML y archivos en formato del **lenguaje de marcas de hipertexto (HyperText Markup Language, HTML)**, que a su vez permite compartir los datos. Una arquitectura basada en agentes y una red de nodos sensores basados en Web definen el concepto de **Web de Sensores**. Los datos que se archivan en los sensores de una Web de sensores, se pueden descubrir y acceder a través de protocolos estándar. Entre las ventajas que esto permite, destacan una adecuada escalabilidad y que los programadores pueden desarrollar aplicaciones en poco tiempo a partir de una **interfaz de programación de aplicaciones (Application Programming Interface, API)** para las redes de nodos sensores basados en Web y otros servicios Web (por ejemplo, Google Maps) (Botts et al., 2008; Lee et al., 2010; Schut y Whiteside, 2005). En la Fig. 7 puede verse una representación gráfica del concepto Web de sensores, donde se describen las características principales de esta tecnología.

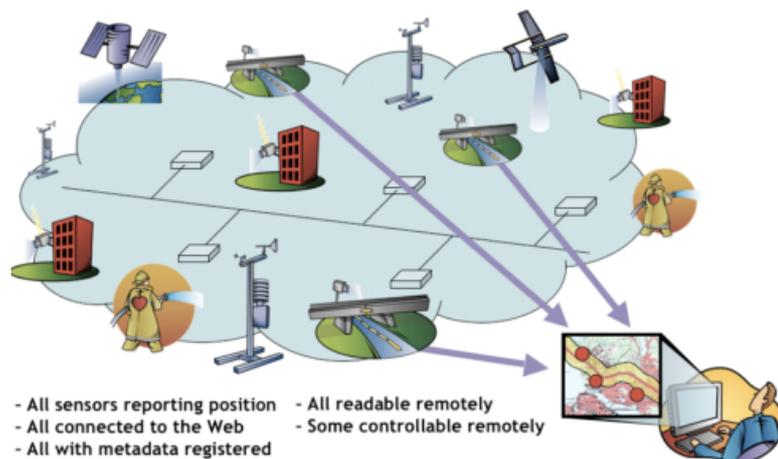


Figura 7. Concepto “Web de sensores” (Botts et al., 2008).

La aplicación de WS en el sector agrícola se lleva realizando desde hace algunos años (Casadesus et al., 2007). Sin embargo, desde hace tiempo, la comunidad investigadora en el ámbito de la información geográfica reconoce abiertamente que la capacidad de manejar eficientemente datos geospaciales como los requeridos en AP (VP), necesita del desarrollo de WS especializados y de su estandarización. Esta motivación se ha convertido en uno de los objetivos principales de la OGC y de sus grupos de trabajo en los estándares OGC. Aunque se han señalado algunas desventajas en el uso de estos estándares, como que originalmente no estaban diseñados específicamente para los flujos de datos agrícolas, y que tampoco eran compatibles con las normas de los WS estándar (Nash et al., 2009), diversas iniciativas en investigación y desarrollo recientes demuestran lo contrario. Con respecto a esto último, Sayar et al. (2005) describen una arquitectura para proporcionar compatibilidad entre WS de un GIS y el estándar **servicio de mapas web (Web Map Service, WMS)** de OGC. En la Fig. 8 se muestra la arquitectura propuesta como solución, donde destaca el uso de los estándares SOAP y el **protocolo de transferencia de hipertexto (HyperText Transfer Protocol, HTTP)** para el intercambio de datos con el integrador que sirve de intermediario entre ambos tipos de WS. Otros trabajos más recientes con escenarios compatibles son los de Chen et al. (2009) o Amirian et al. (2010).

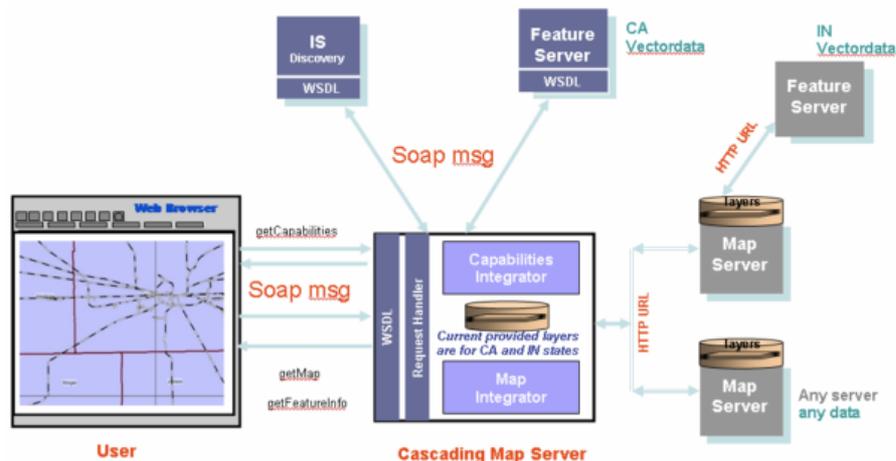


Figura 8. Arquitectura de un WS GIS compatible con los servicios OGC (Sayar et al., 2005).

Sensor Web Enablement

Según se traduce de una cita incluida en Botts et al. (2006), la iniciativa **Sensor Web Enablement (SWE)** de OGC se centra en el desarrollo de las normas para permitir el descubrimiento, intercambio y procesamiento de las observaciones de los sensores, así como de las tareas de los sistemas (red) de sensores.

Los modelos, codificaciones y servicios de la arquitectura SWE permiten la implementación de redes de sensores (heterogéneos) orientadas a servicios, interoperables y escalables. Casi todos los aspectos de la utilización de sensores en red están cubiertos en el SWE, por ejemplo, el **lenguaje de modelado del sensor (Sensor Model Language, SensorML)** para el descubrimiento y la programación de los sensores, TransducerML para la descripción de sensores individualmente o el **servicio de observación de sensores (Sensor Observation Service, SOS)** para la recuperación de datos a partir de las observaciones realizadas por los sensores. En la Fig. 9 puede verse el papel de intermediario (middleware) que los estándares SWE adoptan en un contexto de operación para el apoyo en la toma de decisiones.

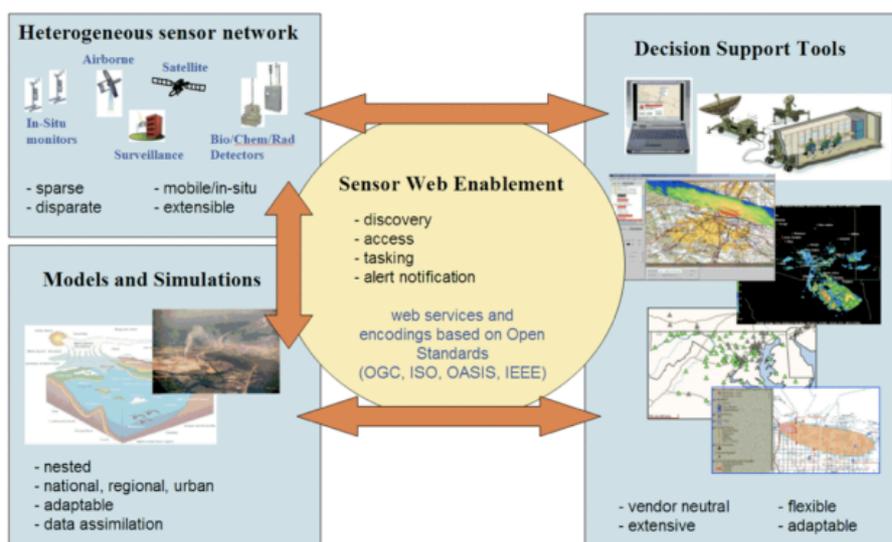


Figura 9. Rol del framework SWE (Botts et al., 2008).

Los sensores en una red de sensores basados en Web, pueden utilizar un lenguaje de descripción de la estructura y restricciones de los contenidos de los documentos XML (XML Schema) para publicar las descripciones formales de las capacidades del propio sensor, su ubicación y sus interfaces. La información en el esquema XML sobre la interfaz de control de un sensor permite la comunicación automatizada con el sistema de sensores para diversos fines, por ejemplo, para determinar su estado y ubicación, para enviar comandos a una sonda o a la propia plataforma del sensor y para acceder a sus datos almacenados o en tiempo real. Un enfoque orientado a objetos para la descripción del sensor y los datos, también proporciona una manera muy eficiente de generar metadatos de esquema-estándar para los datos obtenidos por los sensores, lo que facilita el descubrimiento y la interpretación de los datos distribuidos (Botts et al., 2008).

Con respecto al interés actual en las WSN, como ya se ha puesto de manifiesto en este trabajo con anterioridad, Nash et al. (2009) incluyen más ejemplos recientes al respecto; pero además estos autores también destacan que las normas SWE pueden tener un papel cada vez más importante en la gestión, integración y recolección de datos continuos en tiempo real para la AP (VP). Por ello, esos autores, a partir de Botts et al. (2006), proponen una adaptación de los roles potenciales de SWE y otras normas de sensores en una WSN para AP (VP). La iniciativa SWE podría introducir una capa de middleware para todos los tipos de sensores conectados en red, y estar diseñada también para interoperar con otros ámbitos de la normalización de sensores tales como el IEEE 1451⁷ o ISO 11783⁸ (ISOBUS) (Fig. 10).

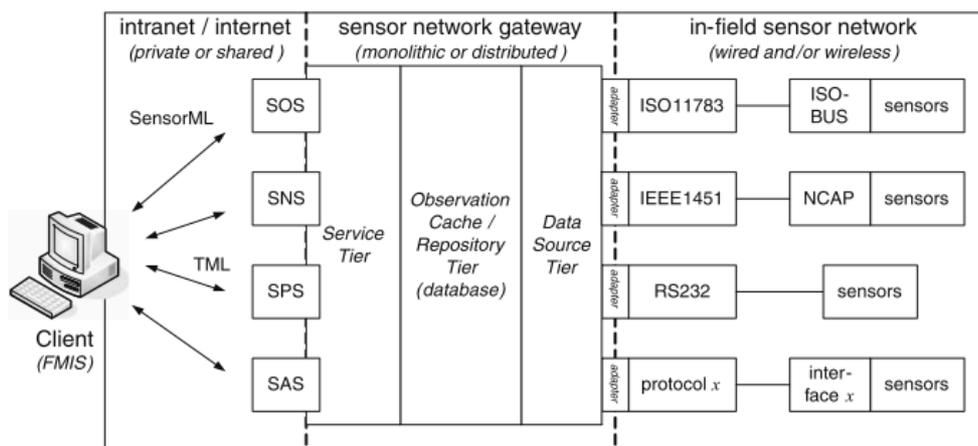


Figura 10. Roles potenciales de SWE y normas de sensores en una WSN para AP (Nash et al., 2009).

Para terminar con este apartado, comentar brevemente algunas investigaciones y experiencias en la aplicación de SWE a la AP (VP). Chaudhary et al. (2004) proponen una arquitectura para un sistema de información agrícola (Agricultural Information Systems, AIS) que emplea procesamiento analítico en línea (On-Line Analytical Processing, OLAP) para el análisis multidimensional de los datos provenientes de WS externos, incluidos de sensores bajo estándar SWE y otros almacenes de datos. Precisamente proponen el uso de estándares OGC para recoger los datos de sitio-específico, y reconoce tres retos críticos y claves, según estudios previos, en el ámbito de los AIS: compartir el origen de datos (sensores), el análisis de los servicios y el acceso a la información para los usuarios finales.

⁷ <http://www.ieee.org>

⁸ <http://www.iso.org>

Nash et al. (2009) incluyen dos casos en la utilización de estándares OGC en AP, uno referente a la monitorización de parámetros del suelo, y otro sobre la toma de decisiones sobre el riego. Es precisamente en este segundo caso, donde se propone una WSN para la recolección continua de datos sobre la humedad de suelo, y el uso de estándares SWE que permitan combinarlos con los datos sobre el pronóstico meteorológico proporcionado por una estación meteorológica regional, para la toma de decisiones sobre el riego en una parcela.

Por último, en el trabajo de Walter y Nash (2009), aunque no se trata de una investigación en el ámbito de la AP (VP), se presenta un proyecto de investigación colaborativo denominado sistema de alerta temprana de deslizamientos basado en sensores (Sensor based Landslide Early Warning System, SLEWS). La razón de incluirlo aquí, es que se trata de un buen ejemplo de la utilización de redes ad-hoc inalámbricas de sensores y de tecnologías de infraestructura de datos espaciales de acuerdo con las directrices SWE de OGC para producir un sistema de alerta de bajo coste e interoperable. Esto demuestra la versatilidad que esta tecnología tiene para su aplicación en muy diversos campos de actuación.

3.4. Conclusiones

El despliegue y uso de las WSN se ha convertido en los últimos años en la forma más habitual de monitorización de parámetros de los cultivos. Diversas tecnologías de comunicaciones inalámbricas, como Wi-Fi o ZigBee, se han mostrado eficaces a la hora de transmitir los datos adquiridos sobre el terreno al agricultor, en el ámbito de la AP (VP). La posibilidad reciente de los sensores de utilizar un WS para publicar las descripciones formales de las capacidades del propio sensor (sensores Web), junto a la posibilidad de proporcionar información georreferenciada de manera integrada para SSCM, abre un abanico de nuevas oportunidades para el desarrollo de DSS para la AP (VP). Los modelos, codificaciones y servicios de la arquitectura SWE de OGC también permiten la implementación de redes de sensores (heterogéneos) orientadas a servicios, interoperables y escalables, mostrándose también como un middleware basado en estándares. Por tanto, un camino hacia la interoperabilidad de las redes de sensores con el resto de componentes de un **sistema de información y gestión de explotaciones agrícolas (Farm Management Information System, FMIS)** podría ser la adopción de una SOA.

4. Sistemas de apoyo a la decisión

4.1. ¿Qué son los Sistemas de apoyo a la decisión?

Los DSS son sistemas informáticos que ayudan al usuario final en la resolución de problemas complejos y/o en la toma de decisiones, proporcionando para ello una salida orientada a un razonamiento cuantitativo. Esta orientación diferencia a los DSS de otras herramientas utilizadas para la toma de decisiones como los ES, más orientados a un razonamiento cualitativo equivalente al de una persona experta o especialista en un dominio determinado (Newman et al., 2000). Sin embargo, la línea que separa a estos ES de los DSS basados en el conocimiento, y que se describirán más adelante, no parece ser tan clara como para encontrar una distinción entre ellos en determinadas ocasiones.

4.1.1. Breve repaso histórico

La investigación en el campo del apoyo o soporte a la decisión comienza en la década de 1960, principalmente en el dominio empresarial. Los primeros documentos sobre DSS

fueron publicados por estudiantes de doctorado y profesores en escuelas de negocios que tenían acceso a un sistema informático por tiempo-compartido de la época.

Durante la década de 1970, el desarrollo conceptual y tecnológico de los DSS se centró en el apoyo a los responsables de decisiones individuales, que se vió reforzado por el nacimiento del ordenador personal al comienzo de la década de 1980. Sin embargo, esta perspectiva resultaba demasiado restrictiva desde el punto de vista del mundo empresarial y los negocios. A mediados de la década de 1980, surgen los **sistemas de apoyo a la decisión en grupo (Group Decision Support System, GDSS)** para ayudar en la toma de decisiones a los equipos de trabajo en tareas orientadas a la comunicación. A finales de esa misma década, los sistemas de información ejecutiva se pusieron de moda en las empresas.

A principios de la década de 1990, se produce un cambio en el paradigma de computación adoptado hasta entonces, pasando de los DSS basados en main-frame a DSS basados en cliente-servidor. Además, varias empresas introducen un nuevo tipo de apoyo a las decisiones orientadas a datos mediante OLAP. Entre 1992-93, con la privatización de Internet y el crecimiento de la World Wide Web (WWW), muchas empresas comenzaron a mejorar sus infraestructuras de red, y los vendedores de sistemas de administración de bases de datos (DataBase Management System, DBMS) comienzan a implementar capacidades OLAP reales en sus sistemas de bases de datos.

A mediados de la década de 1990, los investigadores y desarrolladores de software se habían dado cuenta que la Web y las tecnologías de Internet suponían nuevas oportunidades para la implementación de DSS. En la conferencia de la sociedad internacional de sistemas de soporte a la decisión (International Society for Decision Support System, ISDSS) de 1995, se presentaron los primeros documentos que examinaban el uso de la Web e Internet para apoyar a las decisiones. Entre 1996-97 se comienzan a desarrollar intranets corporativas para apoyar el intercambio de información y la gestión del conocimiento dentro las empresas (Inteligencia Empresarial). Para ello, los principales instrumentos en el apoyo a la decisión que se incluyen son consultas ad hoc y presentación de informes, modelos de optimización y simulación, OLAP, minería de datos (Data Mining, DM) y visualización de datos.

A principios de la década actual, aparecen las primeras aplicaciones capaces de proporcionar apoyo a las decisiones a través de **proveedores de servicios de aplicaciones (Application Service Provider, ASP)**. El año 2000 destaca por la aparición de los **portales** y el comienzo de los debates sobre la necesidad de las capacidades de Web semántica para aumentar las posibilidades de procesamiento máquina para el contenido Web. Sofisticados portales para la decisión y el conocimiento empresarial fueron anunciados por los vendedores, que combinaban portales de información con gestión del conocimiento, inteligencia de negocios y DSS conducidos a la comunicación, en un único entorno Web integrado. A partir del 2002, se comienza a discutir sobre la utilidad de la computación Grid (tecnología innovadora que permite utilizar de forma coordinada todo tipo de recursos -cómputo, almacenamiento y aplicaciones específicas- que no están sujetos a un control centralizado) para el apoyo a la decisión; pero el impacto de estas tecnologías en los DSS basados en la Web hoy en día, sigue siendo incierto. Por otro lado, entornos integrados de desarrollo Web como LAMP (LINUX + Servidor Apache + DBMS MySQL + Middleware PHP) se volvieron comunes para el desarrollo de DSS a mediados de esta década (Bhargava et al., 2007).

En la actualidad, la Web es la plataforma predilecta para la construcción de DSS, entre los que destacan aquellos que basan su arquitectura en SOA. El software ofertado mediante un modelo ASP es conocido también como software bajo demanda o **software como servicio**⁹ (**Software as a Service, SaaS**), y puede aprovechar las ventajas de SOA para permitir que las aplicaciones software se comuniquen entre sí. Sin embargo, el concepto ASP ha tenido un éxito limitado debido principalmente a retos no tecnológicos, que han impedido una realización comercial a gran escala: cuestiones como el modelo de pago, la fiabilidad de los sistemas y problemas de índole moral relacionados con la seguridad de la computación a distancia a través de la Web (Bhargava et al., 2007). En los últimos años, este modelo parece renacer porque SaaS se ha convertido en algo común integrado en las tareas de negocio y empresariales como en el software de contabilidad, la facturación informatizada o el software de planificación de recursos empresariales (Enterprise Resource Planning, ERP) que integra facturación, gestión de recursos humanos, finanzas, gestión de contenidos, colaboración, gestión documental o gestión de servicios de escritorio (Biddick, 2010). Pero también se ha extendido a otras áreas, como la de los sensores o los DSS en diferentes ámbitos de aplicación, como es el caso de la agricultura y viticultura.

4.1.2. Tipología y marcos de trabajo de los sistemas de apoyo a la decisión

La categorización de los DSS puede ayudar en la comprensión de cómo estos sistemas de información general intervienen en el comportamiento de la decisión, y cómo se deben diseñar y construir tales sistemas. La tipología DSS establece cinco categorías, que pueden ser reconocidas mediante la identificación de la componente dominante de la arquitectura que proporciona la funcionalidad para apoyar la toma de decisiones. Las cinco categorías son (Power, 2002):

- **DSS basados en modelos.** Incluyen aquellos sistemas que utilizan la contabilidad y modelos financieros, modelos de representación y modelos de optimización como ayuda en la toma de decisiones. Destacan por la manipulación de un modelo cuantitativo mediante herramientas de análisis y estadística simples, que proporcionan el nivel de funcionalidad elemental. Usan los datos y parámetros proporcionados por los responsables en la toma de decisiones como ayuda en el análisis de la situación, pero normalmente no son datos intensivos. Estos sistemas no requieren de grandes bases de datos, pero a veces, para un análisis específico podrían necesitar extraer datos a partir de ellas.
- **DSS basados en comunicación.** Adquieren su funcionalidad de las tecnologías de la información y las comunicaciones que son empleadas para las comunicaciones electrónicas, planificación de tareas, compartición de ficheros y otras actividades de productividad de los grupos de trabajo. Están compuestos por un sistema interactivo basado en el ordenador, que facilita la resolución de problemas a un conjunto de responsables que trabajan en grupo para la toma de decisiones. También son denominados como Sistemas de apoyo a la decisión en grupo GDSS.
- **DSS basados en datos.** Esta categoría se centra en el análisis de grandes cantidades de datos estructurados. Proporcionan acceso y manipulación de grandes bases de datos, especialmente de aquellos datos de la compañía provenientes de procesos internos y/o externos recopilados periódicamente. Se incluyen en esta categoría, los sistemas de gestión de información, los almacenes de datos y análisis de sistemas, los sistemas de información ejecutiva (Executive

⁹ <http://cloudtaxonomy.opencrowd.com/taxonomy/software-as-a-service/>

Information System, EIS), los DSS espaciales (Spatial DSS, SDSS) y los sistemas de inteligencia de negocios (Business Intelligence, BI).

- **DSS basados en documentos.** Integran una variedad de tecnologías de almacenamiento y procesamiento que proporcionan una completa recuperación y análisis de documentos para apoyar la toma de decisiones. Han evolucionado para ayudar a los administradores a recopilar, recuperar, clasificar y gestionar documentos no estructurados, incluyendo páginas Web. Ejemplos de documentos que podrían ser procesados por estos sistemas serían: políticas y procedimientos corporativos, especificaciones de productos, catálogos e históricos corporativos (registros de reuniones, archivos confidenciales y correspondencia importante). Estos sistemas cuentan con la ayuda de un potente motor de búsqueda asociado.
- **DSS basados en conocimientos.** Sugieren o recomiendan acciones basadas en el conocimiento que se ha almacenado usando la inteligencia artificial (Artificial Intelligence, AI) o herramientas estadísticas, como el razonamiento basado en casos, reglas de negocio y redes bayesianas. Relacionado con la extracción del conocimiento que ayude a la toma de decisiones, se destaca el concepto de DM. DM es una clase de aplicación analítica que busca patrones ocultos en una base de datos, filtrando grandes cantidades de datos hasta encontrar las relaciones contenidas en los mismos. Las herramientas de DM pueden usarse para crear DSS híbridos basados en datos y conocimientos.

Precisamente, el diseño de un DSS específico no tiene porque ajustarse a alguna de estas categorías de manera exclusiva; y así, se podrían combinar las diferentes categorías indicadas anteriormente para generar diferentes DSS híbridos.

4.2. Sistemas de apoyo a la decisión aplicados a la agricultura y viticultura

4.2.1. Consideraciones generales

La aplicación de DSS¹⁰ en el ámbito de la agricultura y viticultura ha alcanzado sus mayores hitos durante los últimos años en países como EE.UU., Australia, Nueva Zelanda o España, como así lo atestiguan diferentes iniciativas y trabajos puestos en marcha. Según Newman et al. (2000) y, Ahmad y Sarwar (2008), estos sistemas proporcionan numerosos beneficios potenciales en esos dos ámbitos, tales como:

- mejora de la evaluación de los cultivos,
- integración de información relevante de forma útil,
- mejora de la capacidad de gestión,
- reducción de los costes de producción, y
- modificación del sistema de producción.

Un primer paso en el desarrollo de estos sistemas sería conocer las actividades que requieren o tienen una mayor complejidad para el agricultor en la toma de decisiones. Según Chaudhary et al. (2004), estas actividades serían:

- la selección de un cultivo y una variedad de cultivo específicos,
- la selección de diversos insumos agrícolas, y
- la determinación del tiempo de las diversas actividades agrícolas como la preparación del suelo, cultivo, tratamiento de semillas, la siembra de semillas, la aplicación de

¹⁰ A efectos de este trabajo, los AIS y FMIS pueden considerarse DSS.

fertilizantes, el uso de métodos de riego, el uso de plaguicidas, la recolección, clasificación, almacenamiento, embalaje y transporte de la cosecha.

En un estudio realizado recientemente sobre las necesidades y requerimientos que los agricultores tienen a la hora de realizar una adecuada gestión de sus explotaciones agrícolas, Sorensen et al. (2010) también ponen de manifiesto que las preocupaciones internas más importantes expresadas por los productores agrícolas están relacionadas con las tareas que consumen tiempo en las operaciones de seguimiento sobre el terreno, con la gestión de las finanzas y solicitudes de subvenciones que se complican aún más por la falta de un software y hardware integrados para gestionar este trabajo, y la falta de coordinación cuando tales programas existen. Además, a lo anterior hay que sumar una necesidad creciente por disponer de tecnologías avanzadas que permitan gestionar la adquisición de datos y automatizar operaciones sobre el terreno, en tiempo real. Por otro lado, al examinar las preocupaciones externas, se encontraron sobre todo con aquellas que se refieren a la necesidad de una producción sostenible de productos agrícolas, que a su vez está condicionada por las normativas y la posibilidad de recibir subvenciones cuando las prácticas más sostenibles son llevadas a cabo. La Fig. 11 ilustra la situación actual de esos problemas y conflictos, y como puede verse, la estructura del sistema es bastante compleja con muchas entidades internas, externas y socios que tienen intereses en el sistema agrícola.

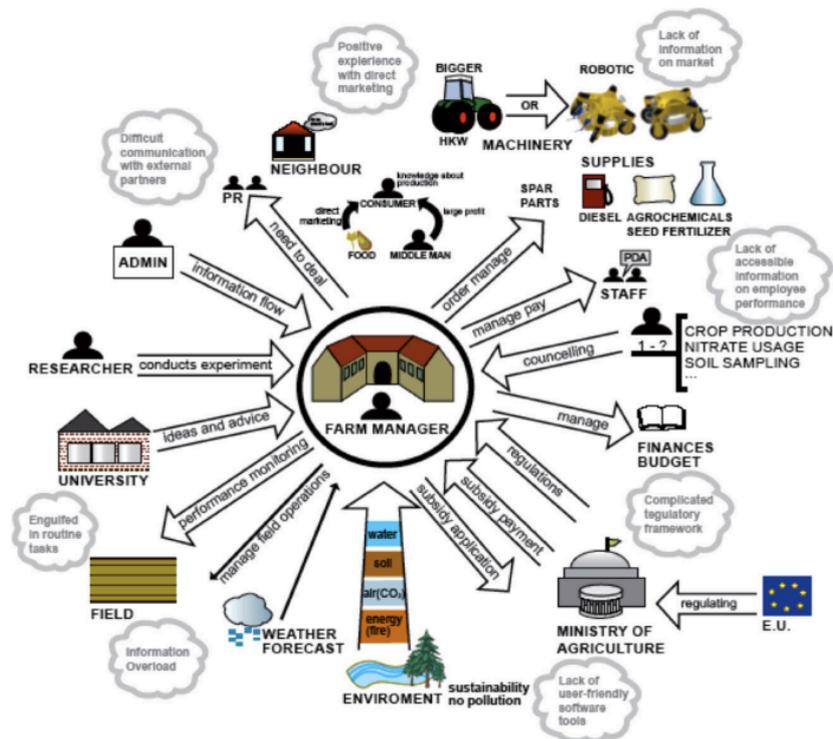


Figura 11. Situación actual de los problemas y conflictos, internos y externos, relacionados con la toma de decisiones según el punto de vista de los productores agrícolas (Sorensen et al., 2010).

Por tanto, el proceso de toma de decisiones se compone de dos partes principales. La parte formal compuesta por los datos, metadatos y los métodos para manejar los datos; y la parte informal, basada en la experiencia y el conocimiento de una persona que lleva a cabo la interpretación útil de la parte formal. Por lo tanto, la integración eficaz de estas dos partes es esencial y sobre esta base deberán desarrollarse los DSS. Los usuarios deben ser capaces de

utilizar estos sistemas para extraer datos (hechos) y reglas provenientes de diversas fuentes, con la ayuda de una interfaz gráfica de usuario efectiva (Chaudhary et al., 2004) .

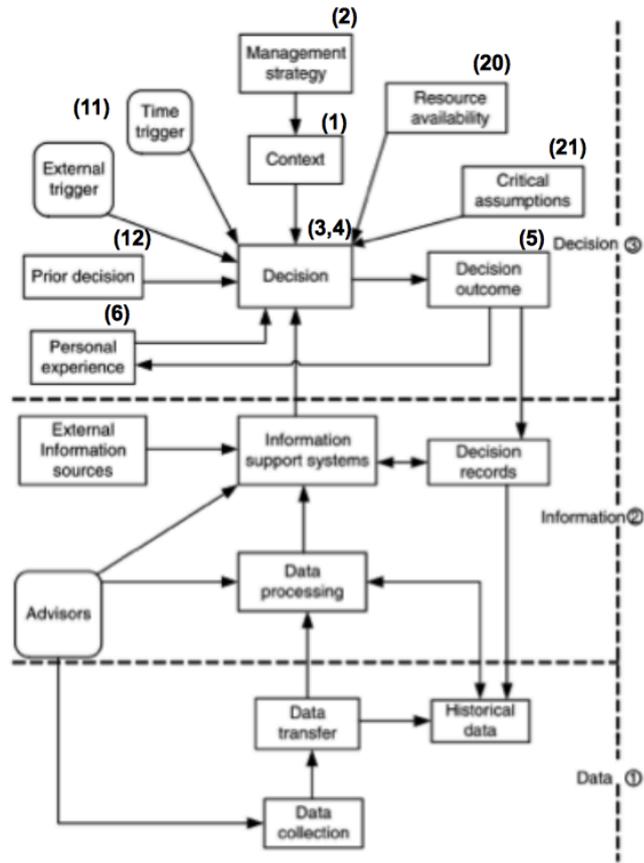
Fountas et al. (2006) fueron quienes identificaron en su día veintinueve factores que caracterizan al proceso de toma de decisiones por parte de los productores agrícolas (Tabla 1). El modelo de flujo de información que proponen basado en los factores de análisis anteriores, está dividido en tres secciones correspondientes a las fases para la transformación desde los datos (*Data*) hasta la información (*Information*) de decisión (*Decision*). La estructura principal del modelo incluye varios de los factores para el análisis de las decisiones de la Tabla 1 de manera explícita (Fig. 12). El modelo fue validado por una serie de decisiones relacionadas con las operaciones de tres productores agrícolas en un entorno universitario y por cinco agricultores en otro comercial, que aplicaban técnicas de AP para el cereal, el maíz y la producción de soja en Dinamarca y en el estado de Indiana (EE.UU.)

Tabla 1. Veintinueve factores de análisis para realizar la toma de decisiones (Fountas et al., 2006)

Factor de análisis de la decisión	Breve explicación
(1) Contexto de la decisión	Una descripción en torno a la decisión
(2) Estrategia de gestión	La filosofía de gestión que se refleja en los valores del administrador
(3) Nombre de la decisión	Una pregunta simple que defina la decisión
(4) Nivel de la decisión	Tipo de decisión (estratégica, táctica,operacional)
(5) Resultados de la decisión	Los diferentes estados de la solución
(6) Responsable de la decision	Persona responsable de tomar la decisión
(7) Participantes	Personas que ayudan o asisten al responsable en la toma de la decisión
(8) Personas con influencia	Otras personas que tienen el poder y la experiencia para influir en la toma de la decisión
(9) Frecuencia de la decisión	Nº de veces que la decisión debe ser tomada
(10) Época de la decisión	Época del año en la que se toma la decisión
(11) Desencadenados por la decisión	Eventos resultantes del inicio del proceso de decisión
(12) Antecedentes a la decisión(es)	Qué debe ocurrir antes de que la decisión se tome
(13) Información necesaria de ayuda a la decisión	Elementos de información que directamente afectan a la toma de decisión
(14) Información extra deseada	Elementos de información que al responsable de la decisión le gustaría tener en el futuro como ayuda en la toma de decisiones
(15) Fuente de datos o información	Las fuentes de datos de donde se obtendrá la información necesaria para la toma de la decisión
(16) Localización física	Localización física donde la información deberá estar almacenada o localizada
(17) Coste de la información	Coste monetario de la adquisición de información
(18) Descripción del procesamiento de la información	Formas de manipulación necesarias de los elementos de información
(19) Herramientas necesarias para el procesamiento	Los medios para procesar la información
(20) Disponibilidad de recursos que afectan a la decisión	Lista de recursos cuya disponibilidad es importante para aplicar las acciones correspondiente de la decisión tomada

(21) Supuestos críticos

Las cuestiones importantes que influyen en la decisión general



Key to Figures 1-4



Figura 12. Diagrama genérico de flujo de información para la toma de decisiones en una agricultura intensiva en información (Fountas et al., 2006).

4.2.2. Consideraciones en el ámbito de la precisión

Si nos centramos en el ámbito más concreto de la AP (VP), estos DSS se convierten también en un elemento fundamental para la implementación del flujo de trabajo de la AP, como lo demuestra que el cálculo de los planes operativos pase directamente o indirectamente a través del FMIS. Los datos almacenados en estos sistemas, se podrían aplicar de manera similar a la agricultura no de precisión para propósitos relacionados con los modelos de apoyo a la decisión o para la creación de informes y documentación (Fountas et al., 2006). Sin embargo, es precisamente la creación de esos planes operativos un requisito fundamental para la AP, y por lo tanto un rasgo distintivo de un FMIS en este ámbito (Nikkilä et al., 2010).

Murakami et al. (2007) describen en base a un conjunto de investigaciones previas, los diez requisitos más importantes que un FMIS debe cumplir para incorporarse al ámbito de la AP (VP) con éxito:

1. Los DSS deben ser diseñados para satisfacer las necesidades específicas de los agricultores.
2. Deben contar con una interfaz de usuario sencilla que permita personalizar los distintos perfiles de usuarios diferentes. Una interfaz sencilla y fácil de usar es especialmente importante para aquellos usuarios que no tienen experiencia.
3. Métodos sencillos y automatizados para el procesamiento de los datos. Los sistemas deben permitir la inclusión y la programación de nuevos métodos automatizados de acuerdo a reglas definidas por los usuarios.
4. El usuario puede disponer de un control completo, siempre que lo desee, para tener acceso a parámetros de configuración de las funciones de procesamiento y análisis.
5. Debe ser posible incorporar conocimiento de expertos (por ejemplo, el conocimiento basado en reglas). Esto puede ofrecer una oportunidad para ajustar el sistema a condiciones locales, y también incluir experiencia del usuario, prácticas y preferencias.
6. Se necesitan sistemas informáticos más integrados y normalizados. Esto podría reducir la inversión técnica, la curva de aprendizaje y la necesidad de apoyo técnico.
7. Debe soportar una integración fácil para interoperar sin problemas con otros paquetes de software (incluido paquetes de simulación), otras fuentes de datos (como datos meteorológicos, datos de mercado), de forma local o remota a través de Internet, utilizando estándares abiertos, interfaces y protocolos. Esto es especialmente importante para dar cabida a sistemas heredados y sistemas distribuidos.
8. Escalabilidad, para soportar diferentes necesidades.
9. Soporte de meta-datos que permitan el intercambio de datos entre aplicaciones.
10. Bajo coste.

Según los autores citados anteriormente, es poco probable que un sistema propietario cumpla todos estos requisitos debido a su complejidad y amplitud, por ello, apuestan por una plataforma de software de código abierto basada en componentes como la solución más adecuada y recomendable para el desarrollo de un DSS.

Por otro lado, las diferentes partes interesadas (actores) y los diferentes puntos de vistas que puedan darse dentro de un FMIS, son también recogidos por Nikkilä et al. (2010) en la siguiente lista ordenada por prioridad de importancia para el funcionamiento del sistema:

- *Agricultores*: junto a otro personal de la explotación son los actores principales del sistema, porque está diseñado para su uso diario y gran parte de su negocio depende del funcionamiento correcto y eficiente del mismo. Las preocupaciones de los agricultores se encuentran en la disponibilidad, fiabilidad y facilidad de uso del FMIS.
- *Proveedor del FMIS*: es el actor visible a todos los demás interesados. Está listo para controlar el desarrollo y mantenimiento del sistema, y se ocupa de la interacción con los clientes y de los acuerdos con otras partes interesadas. Tiene un perfil comercial con sus intereses y preocupaciones.
- *Desarrollador*: en la práctica es la empresa encargada de decidir los detalles técnicos finales e implementar completamente el sistema. Un FMIS no es un sistema software estático, algunos cambios, por ejemplo, de la legislación vigente requieren actualizaciones de rutinas para mantener el sistema al día.
- *Responsable del mantenimiento*: es el administrador del sistema encargado del funcionamiento del FMIS. Independientemente del diseño del propio sistema, un cierto nivel de intervención por seres humanos puede necesitarse en función del nivel

de automatización del sistema. El administrador requiere de una interfaz de usuario eficaz con el menor número de restricciones.

- *Contratistas*: son empleados por los agricultores para la ejecución de algunos de sus trabajos en el campo, y existen diferentes razones para su uso. Los contratistas deben tener acceso a los datos de la explotación para obtener el plan de operaciones necesario para realizar los trabajos contratados. Además, la documentación del trabajo de los contratistas debería enviarse al FMIS por un interés mutuo, el agricultor puede confirmar que el trabajo se hizo y el contratista tiene documentación para probar la calidad y las fechas de ejecución de su trabajo.
- *Asesores*: son empleados para diversos fines, pero entre las razones más comunes se incluyen la gestión del suelo o la creación de explotaciones subsidiarias (filiales donde más del 50% de su valor está controlado por una empresa matriz). Requieren de un acceso a los datos de la explotación similar a la de los agricultores, ya que se espera proporcionen un asesoramiento.
- *Autoridades*: son las encargadas de vigilar el cumplimiento de las regulaciones, por ejemplo sobre el uso de productos químicos, y requieren que las explotaciones informen periódicamente sobre sus actividades. Por tanto una preocupación conveniente entre ambas partes sería si la información necesaria se puede transferir de forma automática, fiable y con la menor cantidad de esfuerzo humano posible.
- *Clientes*: se consideran que son grandes empresas más que un consumidor individual, que tiene preocupaciones relacionadas con el producto que están comprando. La documentación de la explotación puede servir para demostrar que el producto ha sido producido de acuerdo con las prácticas agrícolas acordadas.
- *Suministradores*: no son interesantes en si mismo, pero si la información sobre los productos químicos y semillas que proporcionan. La transferencia práctica de esta información es importante especialmente en la planificación operativa, pues la mayoría de los cálculos requieren información detallada sobre la composición y la disponibilidad de los productos químicos.
- *Proveedores de servicios externos*: proporcionan datos necesarios para el agricultor, con comodidad y fiabilidad desde fuentes externas a la explotación, por ejemplo, servicios meteorológicos. Pero también servicios que necesitan un acceso conveniente a datos de la explotación.
- *Fabricantes de equipos*: Proporcionan detalles técnicos de sus productos que son importantes para el cálculo de los planes operativos. Dependiendo de la forma de la transferencia, el canal de información podría ser utilizado para transferir las actualizaciones de software directamente a los equipos, u otra información de interés.

De entre todos estos actores, los autores señalan a los agricultores, al proveedor del FMIS, al desarrollador y al responsable del mantenimiento o administrador del sistema como los más destacados por su participación dentro del FMIS.

No obstante, Ahmad y Sarwar (2008) consideran que siguen existiendo diferentes factores que suponen una barrera y limitan la adopción de estos sistemas por parte de los productores primarios, los cuales se resumen en la siguiente lista:

- miedo a las ordenadores,
- limitaciones de disponibilidad de tiempo,
- comercialización deficiente,
- objetivos encontrados entre desarrolladores y usuarios finales,
- falta de participación del usuario final,
- falta de relevancia local, y
- complejidad.

A continuación, se citarán y describirán muy brevemente cuatro experiencias en la aplicación de los tipos de DSS al ámbito de la agricultura y viticultura.

4.2.3. Experiencias no basadas en Web

Las tres primeras emplean un DSS basado en modelos para proporcionar asistencia en la toma de decisiones, y la cuarta podría considerarse como un DSS híbrido basado en datos y conocimientos:

- Los autores Thorp et al. (2008) proponen un prototipo DSS llamado Apollo, para ayudar a los investigadores en el uso de modelos de simulación del crecimiento de los cultivos generados por el sistema de soporte de decisiones para la transferencia de agrotecnología (Decision Support System Agro-Technology, DSSAT). El objetivo principal es analizar conjuntos de datos procedentes de la AP. Debido a que esos modelos simulan el crecimiento y desarrollo del cultivo dentro de una unidad homogénea de tierra, el DSS Apolo desarrolla funciones especializadas para gestionar la ejecución de esos modelos DSSAT para simular y analizar la variabilidad espacial intraparcularia.
- En Parsons et al. (2009) se presenta un DSS orientado a modelos para asistir a los agricultores en la gestión de la maleza y malas hierbas, en una misma temporada y durante varios años en una rotación. La decisión para una misma temporada se apoya en una simulación anual del crecimiento de la maleza y del cultivo del trigo, basada en un modelo multi-etapas de decisión heurística (métodos exploratorios durante la resolución de problemas en los cuales las soluciones se descubren por la evaluación del progreso logrado en la búsqueda de un resultado final). Para la rotación utiliza un modelo de dinámica de poblaciones de semillas mediante programación dinámica estocástica (basa su resultado en probabilidades que cambian en el tiempo). Cada escala de tiempo tiene su propia interfaz de usuario dentro de un único programa integrado en el marco ArableDS, que proporciona el intercambio de datos entre los distintos módulos del DSS.
- Ascough II et al. (2010) revisan el pasado, presente y futuro del uso de un DSS de propósito general como GPFARM DSS, aplicado a la sostenibilidad de los agroecosistemas.
- Los autores Shanmuganhtan et al. (2008) tratan en este trabajo la evolución de las técnicas en geo-informática (geomática), especialmente relacionadas con la viticultura y la enología. La integración de datos geoespaciales y su análisis ha llevado al desarrollo de sofisticados dispositivos de telemetría con capacidades de transmisión inalámbrica. Los autores proponen un ES para determinar las condiciones óptimas de crecimiento de la uva, que permita anticipar el potencial del viñedo para producir vinos de alta calidad. Para ello se combinarán técnicas de redes neuronales (paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales) y DM para explotar y analizar los datos obtenidos.

4.2.4. Sistemas de apoyo a la decisión basados en Web

¿Qué son los sistemas de apoyo a la decisión basados en Web?

Como ya se comentó con anterioridad, actualmente la Web es la plataforma predilecta para la construcción de DSS. Los DSS basados en Web (o habilitados para Web) no son considerados como una categoría propia dentro de la tipología de DSS, sino más bien como una extensión de las funcionalidades de las categorías DSS existentes o de cualquier DSS híbrido.

Un DSS basado en Web puede implementar su operación para apoyar la toma de decisiones de diferentes maneras. Como se indican Bhargava et al. (2007), estas posibilidades de las tecnologías Web se pueden clasificar según las tecnologías que permiten, de la siguiente manera:

- **Con operación del lado del servidor.** Facilita el acceso universal e independiente de la plataforma a las aplicaciones de soporte de decisiones. Entre estas tecnologías destacan la interfaz común de pasarela¹¹ (Common Gateway Interface, CGI), las aplicaciones Java¹², los lenguajes de secuencias de comandos del lado del servidor como las páginas activas de servidor¹³ (Active Server Pages, ASP), las páginas de hipertexto preprocesadas¹⁴ (Preprocessor Hypertext Pages, PHP) o las páginas de servidor Java¹⁵ (JavaServer Page, JSP).
- **Con operación del lado del cliente.** Estas tecnologías permiten realizar las operaciones del lado del cliente, con mayores capacidades para ser incrustadas en la interfaz de usuario. Entre estas tecnologías destacan los lenguajes de comandos de secuencias del lado del cliente como Javascript¹⁶ y Javascript asíncrono con XML¹⁷ (Asynchronous JavaScript And XML, AJAX), applets Java, controles ActiveX¹⁸ y plugins del navegador.
- **Implementación y despliegue distribuido de componentes del DSS como servicios.** Entre estas tecnologías se incluyen la arquitectura común de intermediarios en peticiones a objetos¹⁹ (Common Object Request Broker Architecture, CORBA), el modelo de objetos de componentes distribuidos²⁰ (Distributed Component Object Model, DCOM), la invocación de métodos remotos de Java²¹ (Java Remote Method Invocation, RMI), y JavaBeans empresarial²² (Enterprise JavaBeans, EJB). Más recientes, también se han incorporado a la computación DSS los WS, y varias aplicaciones y lenguajes adaptados a partir de XML para el intercambio de datos.

Seguidamente, se describen varios ejemplos de trabajos de investigación actuales que han implementado un DSS basado en Web. Se han dividido en dos subapartados para diferenciar aquellos que emplean tecnologías Web no orientadas a servicios, de aquellos que sí lo hacen. En ambos subapartados, se ha intentado incluir aquellos directamente relacionados con la VP (AP) principalmente, sin embargo, ante la dificultad en la localización de referencias relacionadas, se incluyen otros de ámbito más general en la agricultura y viticultura por considerarlos de interés para este trabajo.

Experiencias basadas en tecnologías Web

En este punto se incluyen tres trabajos de investigación orientados a la aplicación de un DSS basado en Web en la agricultura/viticultura. Los DSS han sido desarrollados con tecnologías Web no orientadas a servicios, que implementan su operación en el lado del servidor.

¹¹ <http://www.w3.org/CGI/>

¹² <http://www.java.com>

¹³ <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa286483.aspx>

¹⁴ <http://www.php.org>

¹⁵ <http://java.sun.com/products/jsp/>

¹⁶ <https://developer.mozilla.org/en/javascript>

¹⁷ <http://www.eclipse.org/atf/>

¹⁸ [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa751968\(28VS.85\)29.aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa751968(28VS.85)29.aspx)

¹⁹ <http://www.corba.org/>

²⁰ <http://www.microsoft.com/com/default.mspx>

²¹ <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-136424.html>

²² <http://www.oracle.com/technetwork/java/index-jsp-140203.html>

Los autores Wharton et al. (2008) proponen un sistema basado en la Web para ayudar a los productores de patata de Michigan en la toma de decisiones sobre el óptimo uso y el calendario de aplicación de fungicidas para prevenir el desarrollo de la enfermedad del tizón tardío (Potato Late Blight, PLB). El sistema fue desarrollado en torno a una base de datos relacional que almacena información sobre el riesgo de PLB, y un modelo de predicción implementado en lenguaje de programación Perl²³. Este modelo utiliza datos de la humedad relativa y la temperatura obtenida por una red de estaciones meteorológicas automatizadas en Michigan (Michigan Automated Weather Network, MAWN), que permite estimar si las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de esta plaga. Sin embargo, cabe señalar que este modelo PLB hace una estimación muy general del microclima de la zona, sin considerar factores como la variabilidad espacial en la topografía (aspecto, pendiente y elevación), la variedad y sanidad del cultivo (densidad de copa, etc.) y el riego. Por tanto, los productores deben considerar estos factores junto con la distancia desde su parcela a la estación meteorológica más cercana al aplicar dichos modelo. Este sistema de gestión del riesgo del tizón tardío²⁴ (Late Blight Risk Management, LBRM) se implementó bajo un entorno Linux, y construido alrededor de un DBMS PostgreSQL²⁵ encargado de almacenar los valores de severidad de la enfermedad calculados periódicamente y por zonas (Disease Severity Values, DSV). Las páginas Web se sirven a los usuarios a través de un servidor Web Apache²⁶, usando PHP y Perl para la interfaz entre la base de datos LBRM y el servidor Web LBRM, que intercambian los datos en formato XML (Fig. 13). Además, el sistema emplea la API de Google Maps²⁷ para mostrar la información relativa al riesgo de PLB a través de mapas interactivos a los usuarios. Podría considerarse dentro de la categoría DSS basados en datos por el tratamiento que realiza sobre una gran cantidad de datos a la hora de confeccionar modelos para la asistencia en la toma de decisiones.

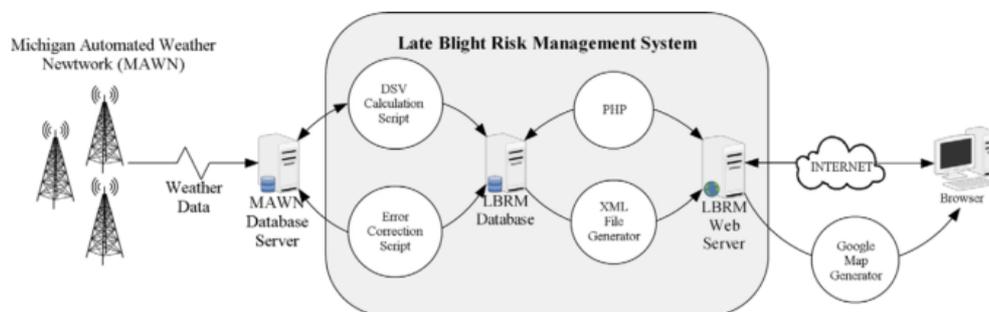


Figura 13. Representación esquemática del LBRM (Wharton et al., 2008).

Kuflic et al. (2009) presentan un DSS basado en modelos, diseñado para asistir a los productores en la optimización y seguimiento del uso de fungicidas a base de cobre contra el mildiu de la vid en la viticultura ecológica europea, donde sólo está permitido el uso de una cantidad fija de cobre al año por hectárea. Sin embargo, sólo se centra en determinar de manera ajustada la cantidad de cobre con la que tratar la superficie total del viñedo, sin considerar la variabilidad espacial intraparcelaria. El sistema se ha denominado Coptimizer, y también está basado en Web. Este sistema ha sido implementado bajo una plataforma

²³ <http://www.perl.org>

²⁴ <http://www.lateblight.org>.

²⁵ <http://www.postgresql.org/>

²⁶ <http://apache.org/>

²⁷ <http://www.google.com/apis/maps/documentation/>

Microsoft Windows, utilizando un DBMS Microsoft SQL Server 2005, un servidor Web Internet Information Services 6.0, y como entorno de desarrollo se ha empleado la plataforma .NET²⁸. Es multilingüe, y de momento sólo disponible en inglés e italiano. Además, sus funcionalidades están implementadas en base a perfiles de usuarios, que permiten establecer las acciones que cada uno de ellos puede realizar sobre el sistema. El sistema (concretamente, el servidor Web) está conectado a una base de datos de datos meteorológicos, de la que recupera los datos históricos necesarios (de una estación meteorológica lo más cercana a la localización del viñedo en ejecución²⁹) para proponer al productor las mejores recomendaciones sobre la aplicación de los fungicidas o informar del nivel de riesgo existente en cada momento (Fig. 14). Optimizer también se puede utilizar para realizar simulaciones basadas en los datos meteorológicos históricos almacenados o en escenarios hipotéticos, para comparar el cobre que sería necesario en una zona determinada o para controlar el efecto del cambio climático en la cantidad de cobre necesaria para proteger la vid contra el mildiu en la agricultura ecológica.

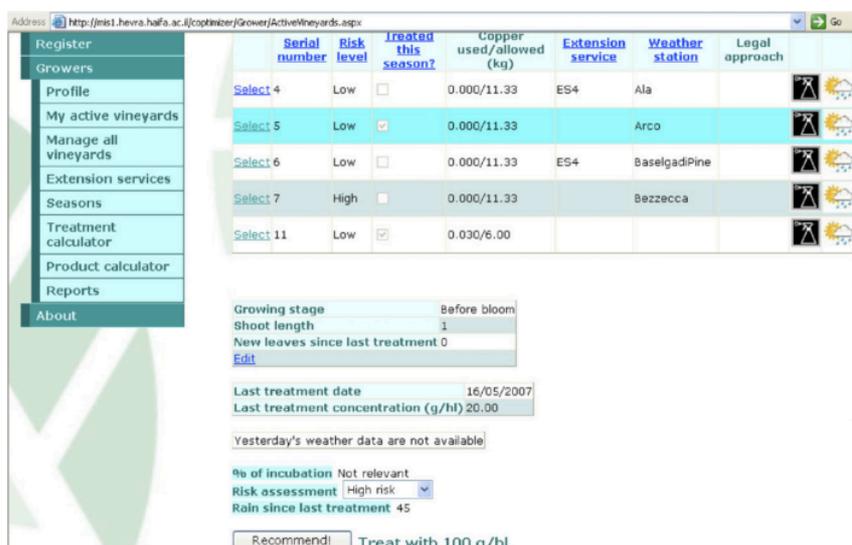


Figura 14. Ejemplo de la vista general del productor: todos los viñedos activos están incluidos, y la recomendación de tratamiento para el viñedo seleccionado (en azul), aparece debajo de la tabla general (Kuflic et al., 2009).

El trabajo desarrollado por Antonopoulou et al. (2010) propone un DSS basado en Web para ayudar a los agricultores durante el procedimiento de selección de cultivos alternativos adecuados, y que denominaron MAFIC-DSS. MAFIC-DSS implementa varios módulos (perfil de usuario, GIS, política agrícola, perfil de comercial, proceso de cultivo, asesoramiento, interacción) que abarcan la colaboración, la información y las necesidades de gestión de los agricultores, mediante el uso de tecnologías basadas en la Web. Estos módulos proporcionan información sobre el proceso de cultivo y la comercialización de cultivos compatibles, la simulación y predicción de modelos de interés general, y sistemas expertos para el control de plagas y selección de cultivos. Por otra parte, MAFIC-DSS fue diseñado para ofrecer servicios a través de teléfonos móviles, pues esta tecnología muestra tasas elevadas de penetración incluso en grupos de población como los agricultores, que son reacios a utilizar las tecnologías

²⁸ <http://www.microsoft.com/net/>

²⁹ <http://meteo.iasma.it/meteo/datimeteo/ricercadati.php>

informáticas (como es el caso de Grecia, país origen del estudio). El sistema emplea una arquitectura basada en un modelo de tres capas (Fig. 15): (a) la capa de almacenamiento, donde los datos son almacenados en un DBMS y todos los servicios soportados almacenan y recuperan los datos necesarios desde o en esta capa; (b) la capa de aplicación, donde una aplicación servidor procesa los datos de los módulos anteriormente citados y hace que los resultados estén disponibles a través de un servidor Web y una pasarela de servicio de mensajes cortos (Short Message Service, SMS); y (c) la capa de presentación, responsable de presentar la información en el formato adecuado al dispositivo que la solicita. Esta arquitectura es abierta y modular, lo que ofrece al sistema capacidades de portabilidad, escalabilidad e interoperabilidad con otros sistemas. Las tres capas del sistema se han implementado usando software de código abierto basado en las tecnologías Java y PHP. En particular, la capa de almacenamiento contiene un DBMS PostgreSQL, que almacena los datos de cada uno de los módulos relativos a los perfiles de usuario, GIS y datos de mercado para cada cultivo relevante. La capa de aplicación de los módulos se ha implementado mediante un servidor de aplicaciones Apache Tomcat³⁰. El servidor Web incorporado por este último, maneja la comunicación con el entorno exterior (capa de presentación) y las rutas exteriores para las llamadas a los componentes adecuados de MAFIC-DSS. También es destacable, que el núcleo del módulo de asesoramiento sea un motor de inferencia que realiza sus tareas en cooperación con una base de conocimientos adecuada. Existe una base de conocimientos independiente para cada cultivo que consiste en reglas que codifican los conocimientos de un dominio en particular. Las reglas son representadas con una notación XML especial, y cada una de ellas tienen un formato del tipo *si <se cumple condición> entonces <realizar acciones>*. Por tanto, se puede afirmar que este DSS podría considerarse un híbrido basado en datos y conocimientos.

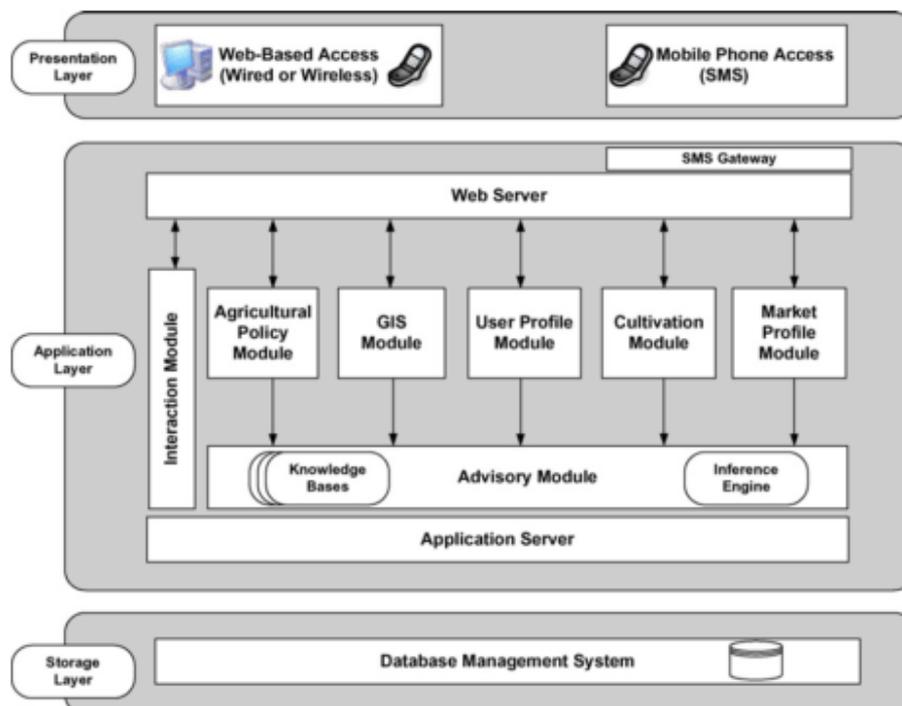


Figura 15. Arquitectura del sistema MAFIC-DSS (Antonopoulou et al., 2010).

³⁰ <http://tomcat.apache.org/>

Experiencias basadas en sistemas distribuidos

Las tecnologías informáticas relacionadas con el desarrollo de sistemas distribuidos, tales como CORBA o DCOM, comienzan a popularizarse durante mediados y finales de la década de 1990. Se trata de un conjunto de arquitecturas y plataformas de desarrollo que facilitan la invocación de métodos remotos (a través de Internet) bajo un paradigma orientado a objetos. De esta manera, se podían ofertar distintos tipos de servicios que garantizaran un conjunto de funciones remotas sin necesidad de implementarlas en cada una de las aplicaciones desarrolladas. Sin embargo, según Chaudhary et al. (2004), estas tecnologías frente a los WS, adolecían de una baja interoperabilidad; mayores costes de instalación, mantenimiento y operación; y de un soporte limitado de los clientes.

A continuación, se presentan dos trabajos que emplean estas arquitecturas para el desarrollo de DSS aplicados a la agricultura.

En este trabajo, Beck (2001) realiza una investigación sobre los entornos de computación distribuida de objetos aplicados a la agricultura. La arquitectura estaba constituida por un sistema gestor de objetos de base de datos (Object DataBase Management System, ODBM) comercial (ObjectStore) que proporcionaba un repositorio de información sobre agricultura y recursos naturales a las grandes organizaciones, el lenguaje de programación Java que proporcionaba un entorno de desarrollo de alto nivel, y CORBA que proporcionaba una manera de compartir información entre aplicaciones a través de Internet. Entre los objetivos principales del proyecto, estaba determinar las ventajas y desventajas del uso de sistemas ODBM en comparación con los sistemas convencionales DBMS en aplicaciones complejas. Para ello, el autor incluye varios ejemplos de aplicaciones entre los destacan un sistema de recomendación de manejo de plagas y un sistema de decisión para cítricos. Sin tratarse específicamente de una experiencia en el desarrollo de un DSS basado en Web, ha sido incluido como ejemplo de los primeros movimientos que surgieron sobre el uso de computación distribuida para el desarrollo de aplicaciones agrícolas. Como era de esperar, las tecnologías empleadas son aquellas que despuntaban en la época (2000), aunque el autor también pone de manifiesto en sus conclusiones lo rápido que comenzaba a emerger un nuevo estándar para el intercambio de datos denominado XML. De la misma manera, el autor ya advertía de las dificultades que CORBA presentaba para algunas aplicaciones al ser demasiado propietario.

En este otro trabajo, Zhang y Goddard (2007) proponen un marco de trabajo y una arquitectura para el desarrollo de un DSS basado en Web distribuido para agricultura (potencialmente válido también para la AP pues podría admitir datos georreferenciados de una fuente determinada para la toma de decisiones). Se trataba de una propuesta de la Agencia de gestión de riesgos del Departamento de agricultura del gobierno de los Estados Unidos, con el objetivo de integrar los datos de fuentes multidisciplinarios sobre cultivos, datos geológicos, climáticos, topográficos y edafológicos (se ocupa del estudio y la clasificación de los suelos), para un análisis espacial de las pérdidas de cosechas (indemnizaciones) y gestión del riesgo. La solución propuesta fue una arquitectura software de cuatro capas que proporcionaba una vista jerárquica para organizar y especificar los datos, así como las herramientas relacionadas con las fuentes de datos multidisciplinarios. En esta arquitectura por capas, tanto los datos, como las herramientas relacionadas se consideran componentes/servicios. Según los autores, para implementar un DSS basado en Web como un sistema basado en componentes distribuidos, existían dos problemas que debían abordarse: la composición de los componentes y la gestión de los componentes distribuidos. Para hacer frente a ambos problemas e implementar una arquitectura por capas en un entorno de

computación distribuida, se desarrolló un marco de trabajo basado en componentes, denominado 3CoFramework. Los tres roles principales que 3CoFramework definía, y que eran componente, conector y coordinador, fueron implementados como objetos CORBA. Para apoyar el proceso de toma de decisiones, los datos y las herramientas relacionadas con el análisis se agrupan dentro de las capas de datos, información o conocimiento basándose en su meta-información y en la información del contexto de dominio específico, que también se utilizan en la capa de presentación para guiar la toma de decisiones (Fig. 16). Para mejorar el rendimiento del DSS, cada una de las tres capas anteriores se asocian también con una memoria caché. Una breve descripción del propósito de estas capas sería:

- Capa de datos: proporciona acceso transparente a los datos ya sean locales o remotos sin tener que preocuparse de sus formatos originales.
- Capa de información: dispone de una colección de herramientas matemáticas o análisis de dominio específico, o modelos de simulación que ayudan a combinar datos dentro de un flujo de información. Estas herramientas, como en cada una de las otras capas de la arquitectura, pueden estar distribuidas sobre una red de computadoras.
- Capa de conocimiento: El conocimiento es generado o descubierto mediante la combinación de información de nuevas maneras, usando herramientas como la minería de datos y algoritmos de descubrimiento de conocimientos.

La interfaz de usuario (capa de presentación) puede tomar muchas formas: páginas Web basadas en HTML que interactúan con las otras capas a través de un servidor Web, o applets de Java que se pueden descargar y ejecutar en el lado del cliente. Estos applets se pueden conectar a las capas (datos, información y conocimiento) directamente a través de Java RMI o de un Intermediario de peticiones de objetos CORBA (Object Request Broker, ORB). El resultado fue un DSS híbrido basado en datos, dominio y conocimientos, con cada una de esas funcionalidades implementadas en capas independientes pero accesibles por el resto.

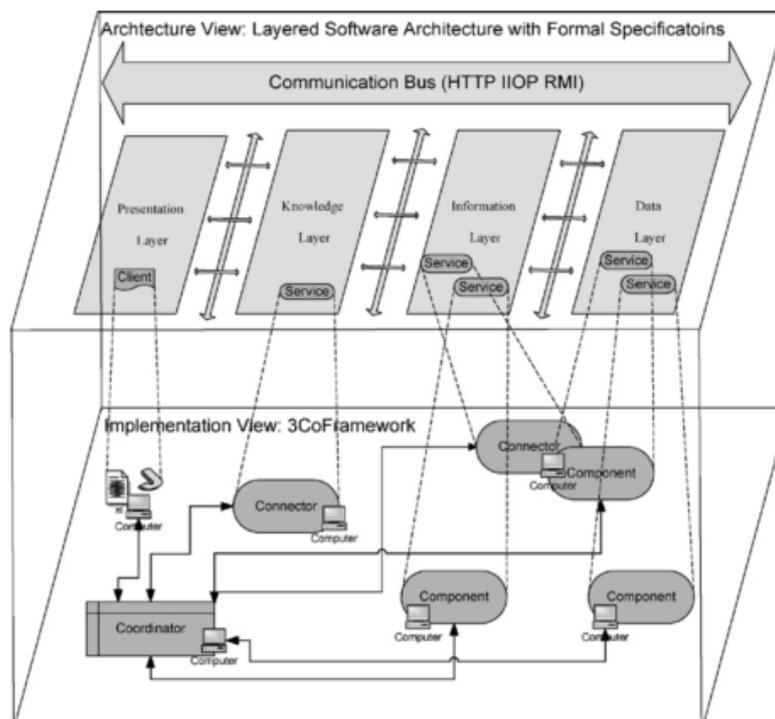


Figura 16. Relación entre las capas de la arquitectura software y el marco de trabajo 3CoFramework. (Zhang y Goddard, 2007).

Experiencias basadas en servicios Web

Los WS y la arquitectura más difundida para su implementación, SOA, ya se describieron con anterioridad en el apartado Web de sensores y Sensor Web Enablement. Una de las ventajas principales de los WS es que el uso de Internet como infraestructura común de comunicación es soportada por todas las plataformas. Los WS siguen un enfoque de desarrollo basado en servicios, donde un servicio es una colección de múltiples componentes envueltos en una capa y accesibles a través de una interfaz única. Así, el consumidor de un servicio localiza la ubicación del mismo en tiempo de ejecución mediante la realización de operaciones de búsqueda en un registro, el cual contiene un puntero a un contrato de servicio. El contrato describe la interfaz para el servicio y los datos necesarios para poder invocarlo. Este desarrollo basado en servicios ha resuelto los problemas de interoperabilidad (manifestados por los sistemas de computación distribuida como CORBA) mediante la adopción de normas basadas en la Web, como el protocolo HTTP para la transferencia de datos y XML para la representación de datos (Chaudhary et al., 2004). El uso de WS para el desarrollo de DSS basados en Web en el ámbito de la AP (VP) también es un campo de investigación reciente, por lo que se dispone de poca literatura y trabajos publicados al respecto

A continuación, se van a describir brevemente, y por orden cronológico, cinco trabajos de investigación que han propuesto la utilización de SOA para el desarrollo de DSS.

El primero de ellos, el trabajo de Chaudhary et al. (2004), ya fue citado anteriormente en la sección relacionada con los sensores Web. La razón es que propone una arquitectura para un AIS, que emplea OLAP para los datos provenientes de WS externos incluidos los procedentes de sensores bajo el estándar SWE.

Murakami et al. (2007) proponen el desarrollo de un sistema de información para la AP desde un nivel conceptual, con el objetivo de proponer las bases para una clase de sistemas más flexibles, integrados e interoperables que puedan cumplir con los requisitos ya citados para los DSS al inicio de esta sección, y desarrollados bajo software de código abierto. En una primera fase, la ingeniería de software se fundamentó en un paradigma orientado a objetos y un enfoque basado en componentes. Para ello, se incluyeron una serie de modelos abstractos de alto nivel, denominados MOSAICo, independientes de la tecnología y libres de los detalles de la implementación. En una segunda fase, se desarrolló una infraestructura software basada inicialmente en una serie de marcos de software, entre ellos xMOSAICo, una extensión del modelo original más la integración de XML. La razón para la adopción de esta nueva tecnología y una SOA subyacente, fue motivado porque proporcionan un fuerte apoyo a la interoperabilidad y a los sistemas distribuidos, no sólo de una forma teórica sino también práctica, teniendo en cuenta que la industria del software apuesta por su desarrollo y adopción en la actualidad.

En la arquitectura propuesta por estos autores (Fig. 17), tanto los servicios agrícolas (Agricultural Service, AS), como los servicios geospaciales (Geospatial Service, GS) son WS alojados en servidores de aplicaciones distribuidas a través de Internet. Los AS pueden realizar tareas completas para un proceso de negocio, por ejemplo, la simulación del crecimiento de la planta, captura de datos (datos meteorológicos, datos sobre el suelo, etc.), o el filtrado de datos del monitor de rendimiento, todos ellos basados en el paradigma de la computación orientada a servicios. Los GS son los servicios de manipulación de datos espaciales típicos de un GIS, que se basan en los servicios normalizados del OGC, en concreto del servicio de características Web (Web Feature Service, WFS) y WMS. La comunicación entre los AS y los GS se basa en el intercambio de documentos XML, creados y validados por un esquema PAML

(Precision Agriculture Markup Language, PAML). PAML es un esquema XML con la capacidad de representar objetos geográficos del mundo real, y una extensión del lenguaje de marcado para geografía (Geography Markup Language, GML). AgriBUS es una implementación en Java de un bus de servicio empresarial (Enterprise Service Bus, ESB), un middleware que proporciona las características requeridas por SOA. Proporciona un entorno para el alojamiento de WS que permite la conexión y la exposición de los servicios a través de protocolos de transporte basados en estándares de Internet, como HTTP y el protocolo de transferencia de archivos (File Transfer Protocol, FTP). El ESB proporciona características que son esenciales para la implementación de servicios tales como la gestión, transformación y validación de los mensajes. La arquitectura propuesta fue validada por los autores mediante una aplicación para el filtrado de datos del monitor de rendimiento basado en un algoritmo para la eliminación de errores en el mapa de rendimiento (Fig. 17).

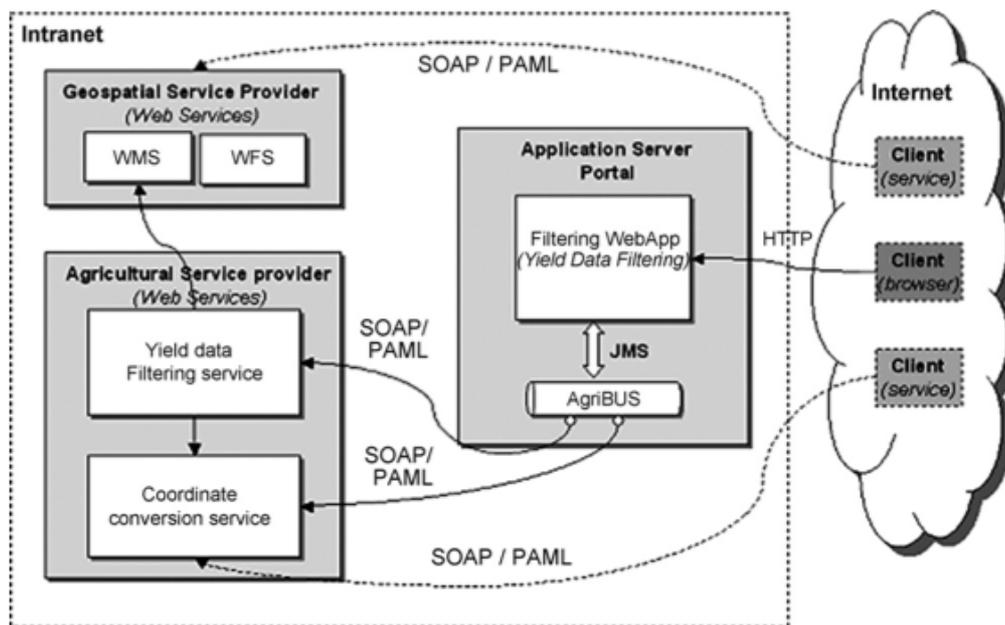


Figura 17. Vista general de la arquitectura de referencia con un ejemplo de aplicación para el filtrado de datos del monitor de rendimiento (Murakami et al., 2007).

Los autores Casadesus et al. (2007) ponen de manifiesto la relevancia que tiene una adecuada gestión del riego para el crecimiento de los cultivos y el resultado de las cosechas. Para optimizar el rendimiento de este proceso, proponen el desarrollo de un DSS que asista a los agricultores en la planificación del riego y controlado por sensores. Para una adecuada toma de decisiones, el sistema no sólo dependerá de la información proporcionada por los sensores en el campo, sino también de un conjunto de datos procedentes de fuentes externas como red de estaciones meteorológicas, repositorios GIS, etc. En este sentido, se demuestra muy interesante para la implementación de estos sistemas, que esas fuentes tengan su información accesible a través de la Web. Además, debido a las dificultades reconocidas por los agricultores para la adopción de nuevas tecnologías, la interacción entre las fuentes de datos y el sistema debería adoptar una aproximación máquina-a-máquina (M2M), es decir, que la adquisición de datos debe hacerse automáticamente entre ellos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se propone una SOA para las aplicaciones de supervisión y control del riego en el ámbito de la AP. La aplicación de supervisión consiste en un sistema de adquisición de datos que recopila las lecturas de los

sensores y las reenvía periódicamente a un servicio de supervisión basado en un WS (Irrigation Supervision and Recommendation Services), donde pueden ser integrados con datos procedentes de otras fuentes basadas también en WS, como servicios meteorológicos o GIS. La aplicación de control consiste en un robusto controlador de riego que tiene la capacidad especial de comunicarse con el servicio de recomendación (Irrigation Supervision and Recommendation Services) para obtener una personalización de la cantidad de riego a aplicar sobre una zona de la parcela específica (Fig. 18). La principal ventaja de usar un enfoque basado en SOA es un bajo acoplamiento entre los componentes que interactúan, lo que facilita la adaptación y evolución de dispositivos que interoperan con otros sistemas de información, y permite una escalabilidad y mantenimiento más sencillos.

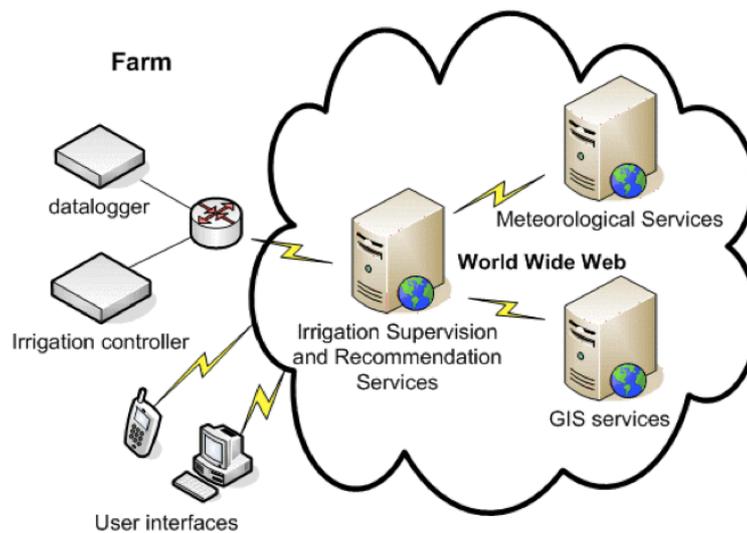


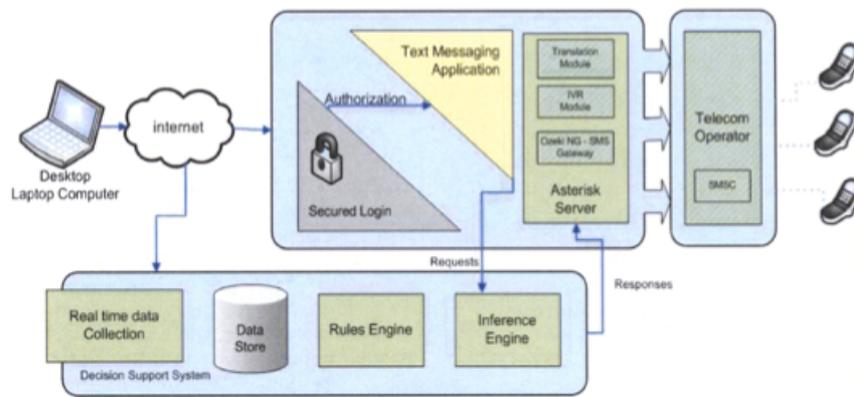
Figura 18. Diagrama de la arquitectura propuesta (Casadesus et al., 2007).

Ahmad y Sarwar (2008) proponen un AIS (Agr-IS) basado en una infraestructura de tecnologías de la información y las comunicaciones y administración del gobierno electrónica (e-Government), en beneficio de los agricultores rurales mediante la educación de los mismos en diferentes aspectos de la agricultura sostenible (Sustainable Agriculture, SA). La funcionalidad básica de este sistema de información se apoya en un Agro-DSS que recibe información de varias agencias gubernamentales y distribuye la información pertinente a los agricultores. Agro-DSS colabora con AIS y con otras plataformas software de código abierto, así como con la infraestructura e-Government basada en SOA para la difusión de información agrícola al día, de una forma fácilmente accesible y de asimilar por los agricultores, investigadores en el ámbito de la agricultura y asesores.

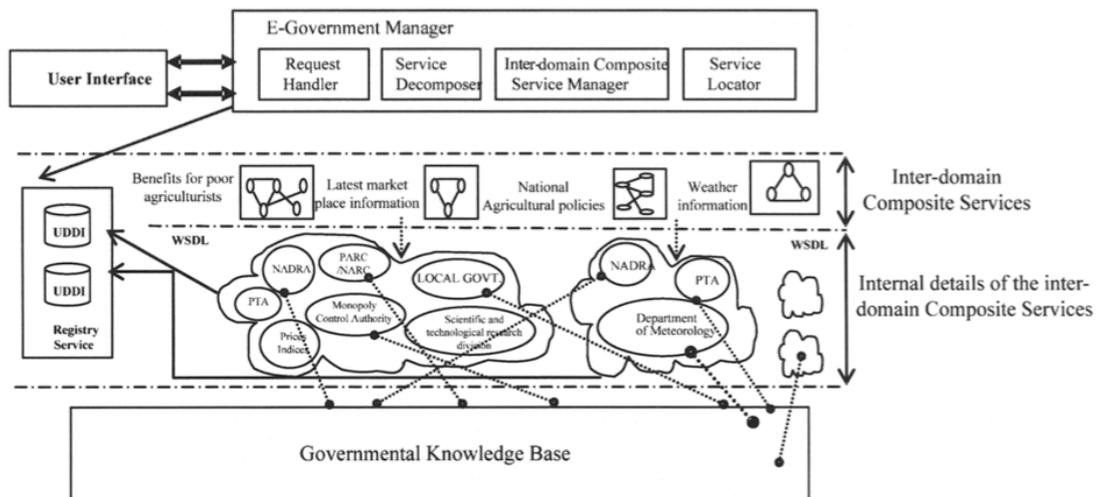
La arquitectura básica para este AIS es una arquitectura de servicios móviles de información que trabaja conjuntamente con Agro-DSS para la toma de decisiones, complementada por una pasarela SMS de código abierto Asterisk³¹ y diseñada para funcionar 24/7. La pasarela recibe las consultas de los abonados a la base de conocimiento (Agro-DSS) en forma de mensajes de texto corto SMS. Con el uso del módulo de traducción a voz (IVR), la pasarela puede convertir las respuestas recibidas desde Agro-DSS a las consultas de los usuarios en sus respectivos mensajes de voz, y difundirlos a los usuarios finales. Agro-DSS

³¹ <http://www.asterisk.org>

consiste en una serie de elementos: un sistema de almacén y gestión de datos, un motor de conocimiento y un motor de inferencia. Agro-DSS está respaldado por un amplio conjunto de datos en tiempo real (Real Time Data Collection Services) sobre climatología e información geográfica a partir de servicios de datos fiables (como los proporcionados por agencias estatales o centros de investigación) (Fig. 19a). En la Fig. 19b, se muestra la infraestructura de e-Government basada en SOA, que permitiría el acceso, por ejemplo, de Agro-DSS a la información de diferentes fuentes gubernamentales como WS, a través del gestor de e-Government (E-Government Manager), que será el encargado de responder a la solicitud de una información determinada a partir de la base de conocimiento general. La solicitud que se recibe por primera vez, entra en el gestor a través de controlador de solicitudes (Request Handler). El trabajo de este gestor es diseccionar la solicitud inicial enviada por el usuario en un conjunto de tareas o sub-solicitudes. Teniendo en cuenta las mismas, el gestor de e-Government busca en el registro de servicios a su disposición en forma de metadatos escritos en WSDL y decide qué combinación de servicios puede satisfacer esa petición. A continuación, busca la ubicación de esos servicios que deben figurar en la lista del repositorio UDDI y delega la solicitud o sub-solicitudes a los servicios correspondientes.



(a)



(b)

Figura 19. (a) Infraestructura básica del sistema de información agrícola (Agr-IS). (b) Infraestructura para un sistema de información agrícola basado en e-Government (Ahmad y Sarwar, 2008).

El último de los trabajos a incluir en este punto ha sido publicado recientemente por Nikkilä et al. (2010). Cabe destacar entre las secciones iniciales del mismo, que los autores incluyen una lista donde identifican los distintos puntos de vista y las partes interesadas (actores) a la hora de desarrollar un FMIS, a las que ya se hizo referencia al comienzo de esta sección. Esta investigación propone una arquitectura software para un FMIS en el ámbito de la AP, con todos los sistemas conectados organizados en cuatro categorías: usuarios (*Users*), otros servicios (*Other services*), servicios Web (*Web services*) y sistemas ISOBUS (*ISO 11783 Task Controller*). Esta arquitectura consta de tres capas, las cuales son descritas brevemente siguiendo un enfoque ascendente (Fig. 20):

- *Almacenamiento de datos (Data storage)*: Todos los datos requeridos y manejados por el FMIS son almacenados en varios DBMS empleando el Lenguaje de consulta estructurado (Structured Query Language, SQL) para interaccionar con los mismos.
- *Lógica de la aplicación (Application logic)*: Se considera el núcleo del FMIS, y consta de tres subcapas. La subcapa *Biblioteca de clases (Class library)* proporciona una abstracción orientada a objetos para los datos almacenados en las bases de datos. La subcapa *Transformación de datos (Data transformation)* se utiliza para transformar los datos internos del FMIS con un formato particular, a otros formatos más adecuados para los servicios externos o módulos conectados a esta capa. La subcapa *Comunicación (Communication)* se considera la más complicada de las tres, pues se encarga de crear las interfaces de usuario en HTML extendido (eXtended HTML, XHTML³²), las transferencias de datos entre el sistema y los servicios externos, y contiene los elementos SOA para la comunicación con WS. La funcionalidad de esta capa puede distribuirse en diferentes servidores utilizando métodos sencillos de balanceo de carga como Round Robin DNS³³.
- *Transferencia de datos a través de Internet (Data transfer)*: Se trata de una capa complicada, puesto que existen varios sistemas incompatibles entre sí conectados al FMIS. Toda la transferencia de datos se produce a través de la subcapa *Comunicación* de la capa anterior e Internet utilizando TCP o el protocolo de datagrama de usuarios (User Datagram Protocol, UDP) sobre IP. Algunos de los formatos de transferencia de datos son bien conocidos, como el XHTML para las interfaces de usuario, sin embargo, otros son más problemáticos. Los servicios externos relacionados con la agricultura pueden esperar comunicarse en un formato basado en XML u otro tipo en texto plano, que luego será manipulado por la subcapa *Transformación de datos* de la capa *Lógica de la aplicación*.

Un aspecto importante del FMIS es el número de interfaces diferentes disponibles, cada una con características diferentes en función de los requisitos de cada actor. La mayoría son interfaces simples para la transferencia de datos entre el sistema y otras partes interesadas o servicios, aunque el formato de la misma dependerá en gran parte del propio actor o el servicio particular. La comunicación con los clientes y proveedores de la explotación agrícola es fundamentalmente del tipo negocio-a-negocio (Business-to-Business, B2B) que justifica el uso de SOA y las tecnologías relacionadas. Por tanto, el número y la heterogeneidad de los actores identificados que intervienen en el FMIS va a condicionar el diseño de la

³² <http://www.w3c.es/divulgacion/guiasbreves/XHTML>

³³ <http://tools.ietf.org/html/rfc1794>

arquitectura del sistema, cuya influencia es más que evidente en la conectividad y la transformación de datos. Esto justifica que la arquitectura sea propuesta como una aplicación Web, puesto que todos los interesados requieren una conexión a la red.

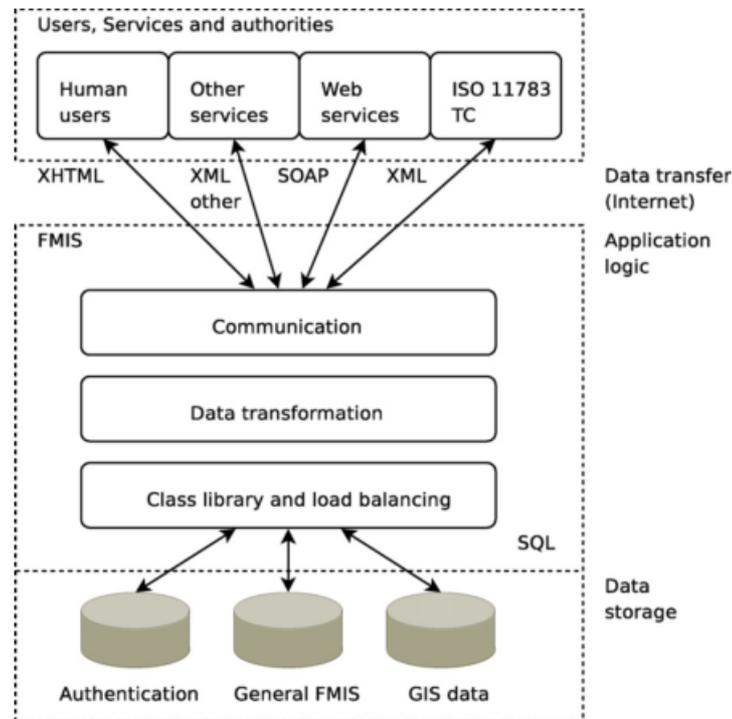


Figura 20. Arquitectura propuesta para un FMIS desde el punto de vista del desarrollador (Nikkilä et al., 2010).

4.3. Conclusiones

Los DSS para agricultura y viticultura tienen como objetivo principal proporcionar información precisa como soporte a la toma de decisiones de los productores agrícolas, mediante el análisis de datos y la extracción de conocimiento a partir de fuentes multidisciplinarias. Es por ello, que la forma predominante que adoptan esos sistemas sea la de un DSS híbrido basado en datos y conocimiento dentro de la tipología DSS. En cuanto a las fuentes internas, se consideran principalmente a las redes inalámbricas de sensores que permiten realizar una monitorización del cultivo in-situ. Por otro lado, en cuanto a las fuentes externas, actualmente las más interesantes de cara a la automatización del proceso de decisión, son aquellas que proporcionan información relevante mediante WS accesibles a través de Internet. Por todo ello, las arquitecturas de estos DSS también deben adaptarse a la Web (DSS basado en Web) garantizando la interoperabilidad con las fuentes de datos mediante la integración de los estándares SOA.

Por último, las arquitecturas basadas en Web han sido criticadas frecuentemente por proporcionar interfaces de usuario pobres y poco útiles. En la actualidad, esto no es tanto una consecuencia única de las tecnologías disponibles, sino más bien de un mal diseño del sistema. Durante el diseño y desarrollo de un FMIS para la AP (VP), deben reconocerse y analizarse todos y cada uno de los roles actores con participación en el mismo, para considerar la necesidad de que cuenten o no con una interfaz de usuario específica a través de la cual acceder a los datos específicos para realizar sus tareas.

5. Conclusiones y trabajos futuros

La adopción de WS en el desarrollo de DSS, ha permitido la incorporación de nuevas fuentes compatibles de datos multidisciplinares a estos sistemas, por ejemplo, las redes de sensores Web basados en estándares SWE de OGC. Esta posibilidad permite mejorar la eficacia de los mismos e incluso que sean más efectivos a la hora de operar en tiempo real. Además, si se añade que los nodos sensores Web pueden proporcionar información georreferenciada de manera integrada para SSCM, se abre todo un abanico de oportunidades para el desarrollo de los DSS en el ámbito de la VP. Por lo tanto, las posibilidades para una interoperabilidad efectiva entre las WSN y los DSS pasaría por la adopción de una SOA. Por otra parte, ninguno de los trabajos de investigación revisados y presentados como ejemplos en esta memoria proponen la aplicación de tecnologías como ED-SOA y CEP en el desarrollo de los DSS. Sin embargo, trabajos de investigación recientes como los de He et al. (2008), Bilchev (2008) y Martínez-Sala et al. (2009) ponen de manifiesto la importancia y la validez de los escenarios de colaboración entre SOA y CEP en computación ubicua para la toma de decisiones en tiempo real. Sin duda, esto abre una puerta a la investigación en este campo para su aplicación en la VP.

Por todo ello, y de cara a la realización de una futura tesis, se proponen tres trabajos futuros de investigación como interés para la misma:

El primero consiste en un *Estudio del interés y viabilidad para la adopción de las prácticas de la viticultura de precisión en las zonas vitivinícolas de la región extremeña*. En la actualidad, la producción de vino de calidad es uno de los sectores de mayor importancia en esta región, como así lo atestigua la existencia de la D. O. Ribera del Guadiana, que incluye a las subzonas de Cañamero y Montánchez, en la provincia de Cáceres y Ribera Alta, Ribera Baja, Tierra de Barros y Matanegra, en Badajoz. Por todo ello, la incorporación de técnicas VP que hagan más eficiente y sostenible este tipo de cultivo, incluida la viticultura ecológica, podría suponer una posibilidad de optimización de los procesos agrarios para el sector de cara a mejorar el rendimiento de la cosecha de uvas. El enfoque general de la investigación se centrará en recabar información sobre el conocimiento que los responsables de viñas y bodegas tienen de las técnicas de la VP, así como su interés en la adopción de las mismas, aún en un formato experimental. La metodología a emplear constará de tres fases: presentación de las técnicas y prácticas, encuesta de investigación y análisis de las respuestas para determinar la viabilidad o no de la aplicación de las mismas. Además, podría aplicarse a cada una de las subzonas de la D.O. Ribera del Guadiana para tener una visión más amplia de la situación. No obstante, esto dependerá de los medios disponibles para el desarrollo del trabajo. Aunque no se trata estrictamente de un trabajo relacionado con los intereses de la investigación del autor de esta memoria, la oportunidad para su realización podría servir como complemento para una futura tesis con respecto al conocimiento del contexto de situación y antecedentes bajo los cuales se desarrollaría.

El segundo trabajo consistirá en una *Investigación sobre las necesidades y prioridades de los roles en la toma de decisiones para la viticultura de precisión en Tierra de Barros*. El enfoque general se centrará en un estudio de las personas y las prácticas vitivinícolas antes de las intervenciones de la tecnología. Para ello, se utilizarán métodos etnográficos como la manera de reunir datos válidos sobre las personas que trabajan en ambientes que no son bien entendidos como lugares para el uso de tecnología. En este estudio en particular, prestaremos especial interés en los roles de las personas que participan en la cadena de producción del vino, con la creencia de que cada rol tiene una relación diferente con la viña, con necesidades de información e interacción diferentes. En este sentido, se plantearán entrevistas personales basadas en un cuestionario de investigación previamente validado, que recogerá los intereses

de todos los roles con respecto a la aplicación de estas nuevas tecnologías; y también se realizarán visitas a las explotaciones para documentar los procesos actuales. En caso de realizarse el trabajo propuesto anteriormente, se podría seleccionar como candidata para la realización del estudio, aquella explotación vitivinícola de la subzona de Tierra de Barros (por proximidad al Centro Universitario de Mérida) que tuviera más interés en colaborar en esta investigación. En caso contrario, se realizaría un sondeo sobre las más cercanas para intentar localizar alguna candidata. El objetivo final será poder definir de modo más eficiente la arquitectura de un DSS para VP, teniendo en cuenta las necesidades concretas de los usuarios. En este sentido, podemos encontrar algunos trabajos al respecto como el de Burrel et al. (2004).

El tercero será un trabajo de investigación que intentará proponer una *Arquitectura basada en eventos para el desarrollo de un servicio Web de alerta temprana de control del riesgo de plagas y enfermedades en viticultura de precisión*. Este trabajo consistirá en proponer el diseño de una arquitectura para un DSS basado en Web definida a partir de un escenario de colaboración entre SOA y CEP, con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta en la toma de decisiones en tiempo real. Las fuentes de datos principales para la adquisición de datos serán una WSN y un servicio Web meteorológico. Por otra parte, en el caso de realizar el segundo trabajo propuesto, el mismo servirá como punto de partida para definir mejor los perfiles y las necesidades de datos particulares de los usuarios a la hora de plantear la arquitectura del sistema. Esta propuesta también dependerá de los medios disponibles, principalmente de una WSN que se pudiera desplegar en una explotación vitivinícola colaboradora. No obstante, en caso de no disponer de estos recursos materiales, el desarrollo de la misma podría implementarse en un marco de trabajo teórico e incluso implementarse bajo un modelo simulado.

6. Material complementario

6.1. Mapas conceptuales de apoyo a la realización del trabajo

Nota: Las citas indicadas en los mapas conceptuales adjuntos están incluidas en la sección Referencias de este trabajo.

6.2. Listado de acrónimos más utilizados

AIS (Agricultural Information Systems): Sistema de información agrícola.

AP: Agricultura de Precisión.

API (Application Programming Interface): Interfaz de programación de aplicaciones.

ASP (Application Service Provider): Proveedores de servicios de aplicaciones.

CEP (Complex Event Processing): Procesamiento de eventos complejos.

CORBA (Common Object Request Broker Architecture): Arquitectura común de intermediarios en peticiones a objetos.

DBMS (DataBase Management System): Sistemas de administración de bases de datos.

DCOM (Distributed Component Object Model): Modelo de objetos de componentes distribuidos.

DM (Data Mining): Minería de datos.

DSS (Decision Support System): Sistemas de apoyo a la decisión.

ED-SOA (Event-Driven SOA): SOA dirigida por eventos.

ERP (Enterprise Resource Planning): Software de planificación de recursos empresariales.

ES (Expert System): Sistemas expertos.

FMIS (Farm Management Information System): Sistema de información y gestión de explotaciones agrícolas.

GDSS (Group Decision Support System): Sistemas de apoyo a la decisión en grupo.

GIS (Geographic Information System): Sistemas de información geográfica.

GPS (Global Position System): Sistemas de posicionamiento global.

GSM (Global System for Mobile Communications): Comunicación móvil para sistemas globales.

HTML (HyperText Markup Language): Lenguaje de marcas de hipertexto.

HTTP (HyperText Transfer Protocol): Protocolo de transferencia de hipertexto.

IP (Internet Protocol): Protocolo de Internet.

OGC (Open GIS Consortium): Consorcio de los sistemas abiertos de información geográfica.

OLAP (On-Line Analytical Processing): Procesamiento analítico en línea.

PHP (Preprocessor Hypertext Pages): Páginas de hipertexto preprocesadas.

RMI (Java Remote Method Invocation): Invocación de métodos remotos de Java.

SaaS (Software as a Service): Software como servicio.

SOA (Service Oriented Architecture): Arquitectura orientada a servicios.

SOAP (Simple Object Access Protocol): Protocolo de acceso de objeto simple.

SOS (Sensor Observation Service): Estándar OGC de servicio de observación de sensores (no se traduce habitualmente).

SSCM (Site-Specific Crop Management): Manejo sitio-específico del cultivo.

SWE (Sensor Web Enablement): Estándar OGC para la habilitación de sensores Web (no se traduce habitualmente).

TCP (Transmission Control Protocol): Protocolo de control de transmisiones.

UDDI (Universal Description Discovery and Integration): Registro universal de descripción, descubrimiento e integración.

VP: Viticultura de Precisión.

WFS (Web Feature Service): Estándar OGC de servicio de características web (no se traduce habitualmente).

WMS (Web Map Service): Estándar OGC de servicio de mapas web (no se traduce habitualmente).

WS (Web Service): Servicio(s) Web.

WSDL (Web Service Definition Language): Lenguaje de definición de servicios Web.

WSN (Wireless Sensor Network): Redes inalámbricas de sensores.

XML (eXtended Markup Language): Lenguaje de marcado extensible.

7. Referencias

- Ahmad, Q. y Sarwar, I., 2008. An Intelligent Agri-Information Dissemination Framework: An e-Government. In *2008 International Multitopic Conference*. Karachi, Pakistan: IEEE, pp. 529-536.
- Amirian, P., Alesheikh, A. y Bassiri, A., 2010. Standards-based, interoperable services for accessing urban services data for the city of Tehran. *Computers Environment and Urban Systems*, 34(4), pp.309-321.
- Antonopoulou, E. et al., 2010. Web and mobile technologies in a prototype DSS for major field crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), pp.292-301.
- Arnó, J., 2008. *Una investigación sobre la variabilidad intraparcelaria en viña y el uso de sensores láser en viticultura de precisión*. Lleida, Spain: Lleida.
- Arnó, J. et al., 2009. Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), pp.779-790.
- Ascough II, J. et al., 2010. The GPFARM DSS for Agroecosystem Sustainability: Past, Future, and Lessons Learned. In D. Swayne et al., eds. *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake*. Ottawa, Canada. Available at: <http://www.iemss.org/iemss2010/papers/W15/W.15.05.The GPFARM DSS for Agroecosystem Sustainability Past, Future, and Lessons Learned - JAMES C. ASCOUGH II.pdf>.
- Auernhammer, H., Demmel, M. y Spangler, A., 2000. *Automatic process data acquisition with GPS and LBS*.
- Beck, H., 2001. Agricultural enterprise information management using object databases, Java, and CORBA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32(2), pp.119-147.
- Bhargava, H., Power, D. y Sun, D., 2007. Progress in Web-based decision support technologies. *Decision Support Systems*, 43(4), pp.1083-1095.
- Biddick, M., 2010. Why You Need A SaaS Strategy. *Jan*, 16, pp.2003-2010.
- Bilchev, G., 2008. Complex event processing as a service. In *5th International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems*. London, UK: IEEE, pp. 204-204.
- Botts, M. et al., 2006. *OpenGIS sensor web enablement architecture document*.
- Botts, M. et al., 2008. OGC Sensor Web Enablement: overview and high level architecture. In F. Fiedrich & B. Van De Walle, eds. *5th International ISCRAM Conference*. Washington, USA: Springer, pp. 175-190.
- Bramley, R. y Hamilton, R., 2004. Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), pp.32-45.
- Bramley, R. y Lamb, D., 2003. Making sense of vineyard variability in Australia. In: Precision Viticulture. In R. Ortega & A. Esser, eds. *Proceedings of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología*. Santiago, Chile, pp. 35-54.
- Bramley, R. y Proffitt, A., 1999. Managing variability in viticultural production. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*, (427), pp.11-16.
- Burrell, J., Brooke, T. y Beckwith, R., 2004. Vineyard computing: sensor networks in agricultural production. *Pervasive Computing*, 3(1), pp.38-45.
- Casadesus, J., Biel, C. y Bonany, J., 2007. Architecture and interoperability requirements for sensor-controlled irrigation. In C. Parker, ed. *6th Biennial Conference of the European Federation of IT in Agriculture*. Glasgow, Scotland: Glasgow Caledonian University.
- Chaudhary, S., Sorathia, V. y Laliwala, Z., 2004. Architecture of sensor based agricultural information system for effective planning of farm activities. In L. Zhang et al., eds. *IEEE International Conference on Services Computing, 2004*. Shanghai, CHINA: IEEE Computer Society, pp. 93-100.
- Chen, N. et al., 2009. A flexible geospatial sensor observation service for diverse sensor data based on Web service. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(2), pp.234-242.
- Domínguez, A., 2004. Nuevas tecnologías: la revolución en el medio agrario y rural. *Vida Rural*, (200), pp.160-166.
- Fountas, S. et al., 2006. A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, 87(2), pp.192-210.
- He, M. et al., 2008. Event driven RFID based exhaust gas detection services oriented system research. In *4th International Conference On Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*. New York, USA: IEEE, pp. 2902-2905.

- Hirafuji, M. et al., 2009. Sensor network architecture based on web and agent for Long-term sustainable observation in open fields. In *Proceedings of The first International Workshop on Intelligent Agents in Sensor Networks and Sensor Web*. pp. 11-20.
- Huhns, M. y Singh, M., 2005. Service-oriented computing: Key concepts and principles. *Internet Computing, IEEE*, 9(1), pp.75-81.
- Kuflic, T. et al., 2009. Optimization of copper treatments in organic viticulture by using a web-based decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(1), pp.36-43.
- Lamb, D., Frazier, P. y Adams, P., 2007. Improving pathways to adoption: Putting the right P's in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Leavitt, N., 2009. Complex-Event processing poised for growth. *Computer*, 42(4), pp.17-20.
- Lee, W. et al., 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1), pp.2-33.
- Luckham, D., 2007. SOA , EDA , BPM and CEP are all Complementary (Part I). *Power*.
- Mariño, P. et al., 2008. Internetworking infrastructures for field sensors. In Dresden, Germany: IEEE Computer Society, pp. 113-116.
- Martínez-Sala, A. et al., 2009. Tracking of returnable packaging and transport units with active RFID in the grocery supply chain. *Computers in Industry*, 60(3), pp.161-171.
- McBratney, A. y Whelan, B., 2001. Precision Ag - Oz style. In *Proceedings of the 1st Australian Conference on Geospatial Information in Agriculture*. NSW Agriculture, pp. 274-282.
- Montero, F. et al., 2008. *Determinación de la variabilidad vitivinícola en parcela mediante redes inalámbrica de sensores y su aplicación en la Viticultura de Precisión: El proyecto WISEVINE (2005-2007)*, Albacete, Spain.
- Morais, R. et al., 2008. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(2), pp.94-106.
- Moral, F., Terrón, J. y Marques Da Silva, J., 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research*, 106(2), pp.335-343.
- Morales, C.A., 2010. Estado del Arte Servicios Web. *camoralesma.googlepages.com*. Available at: <http://camoralesma.googlepages.com/articulo.pdf>.
- Murakami, E. et al., 2007. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. *Computers and Electronics in agriculture*, 58(1), pp.37-48.
- Nash, E., Korduan, P. y Bill, R., 2009. Applications of open geospatial web services in precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 10(6), pp.546-560.
- Newman, S., Lynch, T. y Plummer, A., 2000. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. *Journal of Animal Science*, 77, p.1.
- Nikkilä, R., Seilonen, I. y Koskinen, K., 2010. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), pp.328-336.
- Parsons, D. et al., 2009. Weed Manager-A model-based decision support system for weed management in arable crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2), pp.155-167.
- Plant, R., 2001. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30, pp.9-29.
- Power, D., 2002. *Decision support systems: concepts and resources for managers*, Wesport, USA: Quorum Books. Available at: <http://books.google.es/books?id=9NA6QMcte3cC&lpq=PR5&ots=DLuytAKqD9&dq=Decision Support Systems%3A Concepts and Resources for Managers&lr&pg=PR5#v=onepage&q&f=false>.
- Sayar, A., Pierce, M. y Fox, G., 2005. *OGC Compatible Geographical Information Systems Web Services*, Bloomington, USA: Citeseer.
- Schut, P. y Whiteside, A., 2005. *OpenGIS Web Processing Service*,
- Shanmuganthan, S., Ghobakhlou, A. y Sallis, P., 2008. Sensors for modeling the effects of climate change on grapevine growth and wine. In Heraklion, Greece: World Scientific and Engineering Academy and Society, pp. 315-320.
- Sorensen, C. et al., 2010. Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(1), pp.37-47.
- Sudduth, K., 1999. Engineering technologies for precision farming. USDA- Agricultural Research Service. Columbia, Missouri, USA. In *International Seminar on Agricultural Mechanization Technology for Precision Farming*. Suwon, Korea, p. 16.
- Taylor, J., 2004. *Digital terroirs and precision viticulture: investigations into the application of information technologies in australian vineyards*. Sidney, Australia: Sidney.

- Thorp, K. et al., 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), pp.276-285.
- Tisseyre, B., Ojeda, H. y Taylor, J., 2007. New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 41(2), pp.63-76.
- W3C, 2010. Guía Breve de Servicios Web. Available at:
<http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/ServiciosWeb>.
- Walter, K. y Nash, E., 2009. Coupling Wireless Sensor Networks and the Sensor Observation Service— Bridging the Interoperability Gap. In *12th International Conference on Geographic Information Science*. Hannover, Germany, pp. 1-9. Available at: http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2009-hannover/pdfs/119.pdf.
- Wample, R., Mills, L. y Davenport, J., 1999. Use of precision farming practices in grape production. In *IV International Conference on Precision Agriculture*. St Paul, MN, USA, pp. 897-905.
- Wharton, P. et al., 2008. A web-based interactive system for risk management of potato late blight in Michigan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2), pp.136-148.
- Zhang, S. y Goddard, S., 2007. A software architecture and framework for Web-based distributed Decision Support Systems. *Decision Support Systems*, 43(4), pp.1133-1150.