

## **Una infraestructura inteligente embebida para el entorno del río Guadalquivir**

**M<sup>a</sup> del Carmen Delgado<sup>1</sup>, Pablo Cortés<sup>1</sup>, José Guadix<sup>1</sup>, Alejandro Escudero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Grupo Ingeniería de Organización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla. mdelgado@esi.us.es, pca@esi.us.es, guadix@esi.us.es, aescudero@esi.us.es

### **Resumen**

*El uso de las técnicas de Inteligencia Artificial y los Sistemas Multiagente se extiende cada día más a nuevas áreas. Su reciente confluencia con la investigación en Redes de Sensores inalámbricos suponen un nuevo ámbito especialmente adecuado para la monitorización de múltiples actividades y entornos. En esta línea se enmarca el proyecto BOYAS, cuyo objetivo es desarrollar una infraestructura de ambiente inteligente para el río Guadalquivir\*.*

**Palabras clave:** Sistemas multiagente, Redes de sensores inalámbricos, Sistemas de apoyo a la toma de decisiones

### **1. Introducción al proyecto BOYAS**

El proyecto BOYAS surge en la concurrencia que actualmente se está produciendo entre múltiples líneas de investigación, concretamente, entre la Inteligencia Artificial Distribuida y las Redes de Sensores inalámbricos. El objetivo del mismo es aprovechar las características de ambas áreas para enriquecer y mejorar la funcionalidad del sistema de gestión del tráfico marítimo-fluvial existente en la ría del Guadalquivir. Las importantes ventajas y mejoras que la nueva infraestructura ofrece posibilitan la expansión de la aplicabilidad y uso del sistema a otras actividades relacionadas con el ecosistema y el entorno en el que se ubica la aplicación.

### **2. La Inteligencia Artificial Distribuida y los Sistemas multiagente**

La Inteligencia Artificial Distribuida (*Distributed Artificial Intelligence*, DAI) surgió en los años ochenta en el proceso de evolución desde los sistemas centralizados hacia los sistemas distribuidos. Nació de la confluencia de disciplinas tan dispares como la Inteligencia Artificial, la Sociología o la Investigación Operativa, lo que le confiere un carácter muy general.

---

\* Este trabajo se está llevando a cabo en el marco del proyecto investigación financiado por el programa PROFIT, referencias FIT-340000-2006-24 y FIT-340000-2007-143 (proyecto BOYAS).

Una parte de la DAI puede definirse como el estudio, la construcción y la aplicación de los denominados sistemas multiagente (*Multiagent Systems*, MAS). Se entiende por sistema multiagente a aquel en el que varios agentes inteligentes interactúan para la consecución de ciertos objetivos o la realización de tareas. En los últimos años el desarrollo y difusión de esta área de investigación ha sido espectacular y cada día despierta un mayor interés con sus múltiples posibilidades de aplicación (Jennings *et al* 1998).

Uno de los ámbitos de intensa aplicación desde los inicios de los MAS es el de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (*Decision Support Systems*, DSS). La adición de inteligencia a los mismos, mediante su conjunción con MAS, hizo que proliferaran las aplicaciones para logística de transporte, aplicaciones en el ámbito de la industria y de los sistemas productivos, así como para gestión de sistemas de control/regulación del tráfico (Weiss 1999).

### **3. Las Redes de Sensores Inalámbricos**

En las mismas áreas nombradas anteriormente se aplican también las denominadas redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks*, WSN). Como su propio nombre indica, una WSN está compuesta por un conjunto de sensores, generalmente grande, capaces de comunicarse entre sí mediante tecnología inalámbrica, con el fin de extraer información y monitorizar los entornos en los que se despliegan.

Las WSN surgieron recientemente gracias a los avances en electrónica y comunicaciones inalámbricas fundamentalmente. Estos avances permitieron el desarrollo de pequeños sensores de bajo coste, con bajos requerimientos de energía y capaces de comunicarse entre sí (Akyildiz 2002). Estas y otras características son las que posibilitan su empleo para la monitorización de distintos entornos gracias a la inmersión de estas redes en ellos. De esta forma, además de para la monitorización de procesos productivos y actividades relacionadas con el tráfico, las WSN se utilizan para aplicaciones medioambientales (detección/monitorización de terremotos o inundaciones), aplicaciones militares, aplicaciones en entornos no accesibles, peligrosos o de gran amplitud no monitorizables mediante las técnicas clásicas.

#### **3.1. Características de las Redes de Sensores Inalámbricos**

Características genéricas y definitorias de las WSN son las fuertes limitaciones de estas en cuanto a ancho de banda de comunicación, capacidad de procesamiento y disponibilidad de energía de los nodos que la forman. Estas limitaciones hacen necesario el uso de un elevado número de nodos para cubrir amplias regiones de aplicación, así como aliviar o suplir el efecto de dichas restricciones gracias a la conjunción de las características individuales de los distintos elementos (Tubaishat y Madria 2003).

Una red densa puede proporcionar un mayor grado de exactitud en las medidas recogidas, presentando propiedades de redundancia, fiabilidad o tolerancia a fallos, y además permite disponer de una mayor cantidad de energía a nivel del sistema global. La dificultad añadida que surge por el uso de este elevado número de componentes hace referencia al aumento de la posibilidad de que se produzcan colisiones en la red. Como consecuencia de estas colisiones se produce el aumento de la latencia de las comunicaciones y la disminución de la eficiencia en la gestión energética. Esto es debido tanto a las colisiones en las transmisiones como a la energía empleada en la toma de muestras que no proporcionan información al sistema y resultan redundantes.

Con el objetivo de ahorrar energía, así como recursos de comunicación y procesado, es típico en las WSN el empleo de técnicas para agregación de datos y procesado conjunto de la información recogida por dichos nodos. Estas mismas limitaciones de recursos vuelven a condicionar los posibles protocolos de rutado a usar, así como las formas de comunicación, típicamente comunicación multisalto entre nodos, frente a las técnicas de comunicación directa.

Los entornos de aplicación de las WSN son entornos dinámicos, en ocasiones hostiles. Estas características junto a las propias de la WSN, hacen que la topología de la red cambie frecuentemente. Estos cambios conllevan la reestructuración y reorganización de las tareas a acometer por cada uno de los nodos que componen la red, así como la resolución de problemas de conectividad, reconocimiento y comunicación entre estos.

Las características de las WSN y las propiedades que del comportamiento y desarrollo de estas surgen, requieren o exigen estudios para el diseño hardware de las mismas, para los protocolos de comunicación y rutado a emplear, así como estrategias para el tratamiento de los datos recogidos. Todo ello, con el objetivo de obtener sistemas robustos, escalables y capaces de responder adecuadamente a los cambios en el entorno y proporcionar información fiable y de forma eficiente sobre los eventos que se producen en el medio.

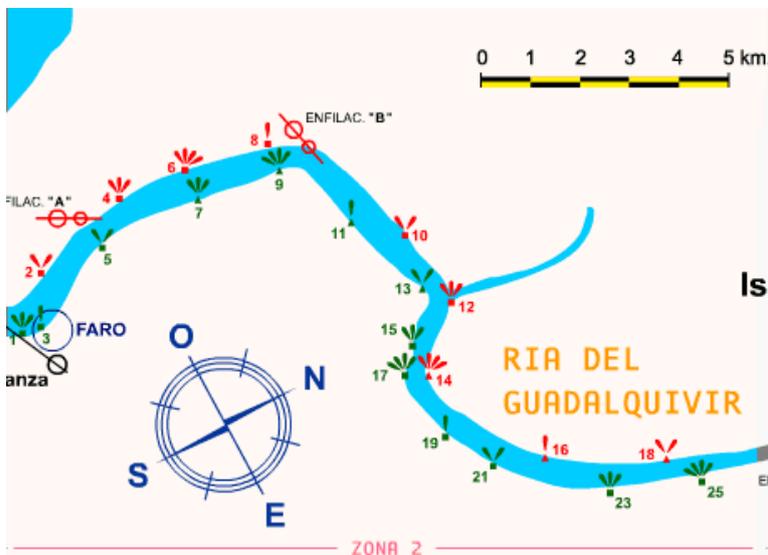
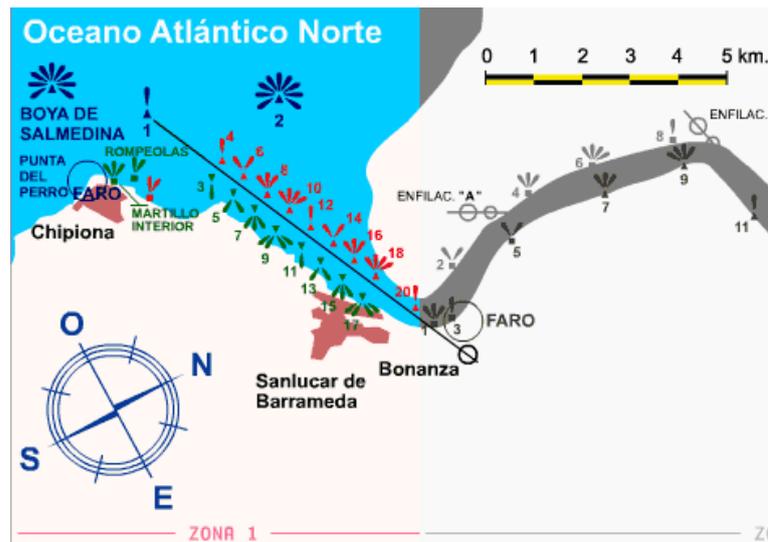
Así, el despliegue de una WSN supone una tarea desafiante para la cual el empleo de los Sistemas Multiagente aparece como una aproximación adecuada y bastante natural por la identificación de los agentes con los nodos de la red de sensores. Esto permite emplear todas las técnicas y herramientas ya estudiadas para MAS en WSN, favoreciendo la consecución de las características de adaptabilidad, eficiencia en la gestión de recursos, etc. deseadas para la red.

#### **4. Ambiente inteligente mediante computación ubicua sobre boyas en el río Guadalquivir: proyecto BOYAS**

Como ya se ha dicho, actualmente, se está produciendo la confluencia entre las dos líneas de investigación anteriormente presentadas y sus ámbitos de aplicación. La integración de las WSN con la DAI se produce mediante la adopción de técnicas propias de esta última para procesar y gestionar la información recogida por los elementos que componen la red. En esta línea es en la que se enmarca el proyecto BOYAS.

La mayoría de las investigaciones que se han desarrollado en esta línea han considerado pequeñas redes experimentales en las que se implementaban arquitecturas de recogida de datos centralizadas. En estos casos, los sensores individuales se caracterizan por poseer poca autonomía y por realizar, únicamente, tareas de percepción y envío de datos hacia un nodo central donde la información es agregada y tratada. El proyecto BOYAS, siguiendo las últimas tendencias, va un paso más allá y, mediante la identificación de los nodos con agentes, dota a los primeros de inteligencia y autonomía.

Este proyecto tiene como objetivo crear una infraestructura inteligente embebida en las diferentes boyas del río Guadalquivir, otros elementos propios como la esclusa, las balizas o la plataforma central de la Autoridad Portuaria e incluso, también, los mismos barcos que naveguen por el río, abarcando las zonas mostradas en la figura.



**Figura 1.** Vistas de la zona de la desembocadura y zona intermedia del Guadalquivir.

La creación de esta infraestructura conlleva el enriquecimiento global del sistema y la mejora de sus funcionalidades en cuanto a capacidad, nivel de seguridad y de servicio se refiere. Se favorece la integración de los sistemas de señalización, monitorización y control del tráfico en condiciones de eficiencia y seguridad. Y además de todo ello, se repercute de forma importante también sobre aspectos asociados a los sistemas marítimo-fluviales como la producción agraria y el desarrollo sostenible del transporte que tiene lugar en las instalaciones del puerto de Sevilla de forma respetuosa con el medio.

El proyecto va más allá de la simple suma de DSS, MAS y WSN. El objetivo con el que nace también supera las expectativas individuales de cada una de estas perspectivas, pues no se pretende resolver un problema de señalización o control de tráfico determinado ni monitorizar el ambiente, sino que se persigue mejorar un sistema actualmente en funcionamiento en pos de dotarlo de los más modernos avances y técnicas.

Con el objetivo de ofrecer una presentación general de la WSN en desarrollo, la Tabla 1 presenta las características de ésta siguiendo la taxonomía propuesta por Vinyals *et al* (2008). Esta clasificación permite distinguir familias de WSN en función de sus características, las cuales determinan además el grado de complejidad de los problemas que en ella pueden aparecer.

**Tabla 1.** Taxonomía para Redes de Sensores Inalámbricos particularizada para el proyecto BOYAS.

Sensores	Alimentación	Red Eléctrica	✓
		Batería	✓
	Autorreconocimiento	Total	✓
		Parcial	✗
	Dinámica	Estático	✗
		Dinámico	✓
	Configurabilidad	No configurable	✗
		Configurable	✓
	Actividad	Pasivo	✗
		Activo	✓
Red	Composición	Homogénea	✗
		Heterogénea	✓
	Despliegue	Determinista	✓
		Ad-hoc	✗
	Comunicación	No restringida	✗
		Restringida	✓
	Dinámica	Estática	✗
		Dinámica	✓
	Propiedad	Propiedad única	✓
		Multipropiedad	✗
Número de nodos	Bajo	✓	
	Alto	✗	
Entorno	Dinámica	Baja	✗
		Alta	✓
	Naturaleza	Determinista	✗
		No determinista	✓
	Observabilidad	Total	✗
		Parcial	✓
Objetivos	Acción	Individual	✓
		Colectiva	✓
	Dependencia con el entorno	Inexistente	✗
		Local	✗
		No local	✓
	Efectos de las acciones	A corto plazo	✓
		A largo plazo	✓

Según la taxonomía elegida, las WSN se clasifican atendiendo a las características de cuatro de sus elementos: sensores, red, entorno y objetivos del diseñador.

Para la red en desarrollo en el proyecto BOYAS, los sensores que se emplean en los distintos nodos están alimentados por baterías y, en algunos casos, según su situación, conectados directamente a la red eléctrica. Los distintos nodos son configurables por la propia red y también son activos, siendo capaces de producir cambios en el entorno. Por último, los nodos de la red son también dinámicos (se ven afectados por los cambios en el entorno en que se encuentran) y son conscientes de su estado y circunstancias en cada momento.

En cuanto a la red, ésta es de naturaleza heterogénea, pues no todos los nodos tienen los mismos sensores ni las mismas capacidades. La comunicación entre los nodos está restringida por las limitaciones de energía de los mismos y de ancho de banda del canal de comunicaciones fundamentalmente. La red se despliega de un modo determinista, pues las posiciones de los nodos vienen fijadas por la situación de las boyas, balizas, etc. a lo largo del cauce del río. El número de nodos que componen el sistema es pequeño y se limita al número de estos elementos ya nombrados presentes en la región del río a monitorizar. Al estar formada por sensores dinámicos y por las propias características del medio en que está inmersa la WSN, ésta es también dinámica globalmente. Por último, se distingue la red como propiedad de un único dueño (Autoridad Portuaria de Sevilla), con las consiguientes facilidades de gestión que eso presenta.

En cuanto al entorno de la red, este se caracteriza por ser dinámico, no determinista y parcialmente observable. Las dos últimas propiedades hacen referencia a la existencia de incertidumbre en los resultados de las acciones, así como en la definición del estado en que se encuentra el entorno.

En último lugar, haciendo referencia a los objetivos de red marcados por el diseñador estos vienen dados por la naturaleza de las acciones de los nodos, los efectos de las mismas y la relación que las vincula con el entorno.

El especial carácter del proyecto en desarrollo hace que las acciones de los sensores sean tanto encaminadas a la consecución de objetivos individuales, como grupales. El efecto de estas acciones también tiene repercusiones a largo y corto plazo y la optimalidad de las mismas viene dada en función de la dinámica del entorno.

Así pues, esta breve presentación desde distintas perspectivas de la red de sensores en desarrollo para el proyecto BOYAS muestra la fuerte y clara influencia que el entorno tiene sobre su definición.

#### **4.1. Estrategia de desarrollo**

El proyecto se divide en tres niveles correspondientes al nivel hardware, middleware y software del mismo. A cada uno de estos niveles se definen estrategias y se tienen en cuenta los aspectos de mayor dificultad para el desarrollo de la red en pos de conseguir alargar la vida de los nodos, gestionar eficientemente los recursos, obtener resultados de calidad, conseguir que la red sea escalable y adaptable a las distintas circunstancias que pueden aparecer, etc.

- Nivel hardware.

En el diseño de la plataforma hardware, se tiene especialmente en cuenta los condicionantes relativos a la naturaleza de la explotación de los nodos que componen el ambiente inteligente. En primer lugar, estos tienen un consumo reducido, pues en la mayoría de los nodos sólo

existe la posibilidad de alimentación mediante baterías y además deben ser resistentes a un entorno de funcionamiento muy agresivo, con fuerte oleaje, humedad, ambiente corrosivo, etc.

La información que se pretende obtener del ambiente marítimo-fluvial es muy amplia, por lo que se emplean distintos tipos de sensores que resultan adecuados para la captura eficiente de los datos. Entre estos sensores se encuentran sensores de salinidad, de ph del agua, de visibilidad, de presión, anemómetros o sensores magnéticos.

Los datos generados por los sensores han de ser procesados por un software empotrado que transmite la información a la plataforma central de la Autoridad Portuaria. Para la transmisión de esta información se desarrolla una red de comunicaciones inalámbricas que conecta a todos los nodos del sistema.

Los nodos que forman parte de la infraestructura inteligente del sistema son: boyas, balizas, enfilaciones, esclusa, plataforma central de la Autoridad Portuaria y buques.

Los sensores que cada uno de estos elementos posee, así como la capacidad de los mismos en cuanto a procesado y transmisión de la información se refiere, cambian según el nodo en cuestión. Estas diferencias surgen de la propia naturaleza física del sistema y de la estructura del mismo. Así pues, los sensores con que se dota a unos elementos u otros depende de la situación geográfica de los mismos. Por otro lado, la plataforma central de la Autoridad Portuaria representa el elemento de mayor nivel del conjunto, pues es el encargado de almacenar los históricos de información del conjunto de nodos y posee también, una perspectiva y poder global sobre las acciones que se toman en el sistema.

El ambiente marítimo-fluvial en el que se desarrolla el proyecto posee unas peculiaridades geográficas que llevan a que la red de comunicaciones necesitada sea mixta y permita que todos los nodos del sistema puedan comunicarse tanto de manera local como de manera global. Esto se debe a que a lo largo del cauce del río Guadalquivir y de su desembocadura, la situación de las boyas y del resto de nodos que conforman la infraestructura inteligente cambia.

La seguridad en las comunicaciones para un sistema como este es un aspecto fundamental y de gran influencia en la elección de la tecnología a emplear para la transmisión de datos. Con el fin de garantizar la seguridad en este proyecto, han de coexistir dos canales para la transmisión de la información, haciéndose uso de uno u otro dependiendo de la criticidad de los datos. Estos bucles de comunicación se basan en las tecnologías GPRS y 802.15.4.

La tecnología GPRS es una tecnología digital que proporciona altas velocidades de transferencias de datos y que resulta especialmente útil para conectarse a Internet. En el proyecto BOYAS, la red GPRS se emplea a modo de refuerzo y apoyo para la red 802.15.4.

El canal GPRS se emplea cuando los datos a enviar son críticos para la toma de decisiones, ya sea porque afecten a la seguridad de cualquier nodo del ambiente inteligente o a la seguridad o integridad del entorno (datos relativos a tráfico ilegal o catástrofes medioambientales).

La transmisión normal de los datos generados en el entorno como medidas de variables medioambientales, medidas relativas al tráfico de embarcaciones, medidas de variables del estado de los propios elementos del sistema, se realiza por el canal 802.15.4, ya que esta

tecnología dispone de unas buenas prestaciones para el tipo de comunicaciones que se dan en la infraestructura inteligente que se está desarrollando.

Las condiciones ambientales extremas del entorno requieren que los dispositivos que se emplean, ya sea para comunicación, procesado o sensado, estén adecuadamente encapsulados. Para ello se emplean dos armarios estancos tal y como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Boya y armarios de dispositivos.

- Nivel middleware.

La funcionalidad básica de la capa de middleware es abstraer la complejidad y distribución de la capa hardware y posibilitar el funcionamiento de las aplicaciones en el sistema inteligente sobre la plataforma desarrollada. La tarea principal de esta capa es hacer transparente a la capa de aplicaciones los detalles de bajo nivel del hardware, del sistema operativo y de distribución de los datos en la infraestructura.

El empleo de técnicas propias de la DAI y MAS se inicia en esta etapa. Al identificar cada nodo con un agente, considerado pues una entidad inteligente, autónoma, proactiva y capaz de interactuar con otros agentes y con el medio en que están inmersos, se posibilita el desarrollo de estrategias de comportamiento para los nodos que adecúen su funcionamiento a las condiciones en que se encuentran en cada momento. En este punto se presentan las mayores dificultades para el diseño de la WSN, pues aquí es donde se definen las estrategias para agregación de los datos, para transmisión y rutado de la información y, por tanto, para gestionar eficientemente los recursos de la red.

Con el objetivo de minimizar la energía consumida, la información recogida del entorno es preprocesada en los nodos de forma individual y conjunta. El procesado individual se basa en la utilización de un algoritmo para ajustar la frecuencia de muestreo del entorno al ritmo de variación de la variable observada, siempre y cuando se mantenga a ésta dentro de unos límites admisibles y lógicos.

Por otra parte, el procesado conjunto se apoya en la formación dinámica de grupos en la red. La composición de estos grupos viene determinada por la distancia entre los nodos y la

similitud de las medidas recogidas por ellos. De esta forma, nodos vecinos con valores similares de las distintas magnitudes observadas realizan actividades de procesado y sensado de forma conjunta. La estabilidad de las formaciones depende de la coherencia de las medidas realizadas por sus miembros y, en última instancia, de las variaciones y cambios que se producen en el entorno.

En pos de comprobar la consistencia de los datos, los nodos realizan chequeos de las medidas recogidas tanto internamente, comprobando la coherencia temporal de los datos, como a nivel grupal, verificando entonces la coherencia espacial de los mismos.

Las tareas de rutado de la información entre los nodos y desde estos hasta la plataforma central de la Autoridad Portuaria constituye uno de los aspectos más desafiantes del diseño del proyecto. Algoritmos típicos para la diseminación de información por toda la red son las técnicas de cotilleo y de inundación clásicas. Dentro de las técnicas de rutado punto a punto pueden distinguirse las basadas en tablas de enrutamiento y las que establecen las rutas por demanda del nodo fuente. No obstante, estas técnicas clásicas no pueden emplearse de forma directa debido a las especiales condiciones de las WSN. De ahí que se estén investigando nuevos algoritmos de rutado que tengan en cuenta las limitaciones de recursos de los nodos.

- Nivel software y de aplicaciones.
  - Con el objeto de disponer de suficiente capacidad de procesado y conectividad, tanto para los sensores como para los propios nodos, se ha optado por la utilización de Linux empotrado, que hace al sistema robusto y seguro. El diseño del sistema basado en software de fuentes abiertas con un sistema operativo de tiempo real facilita la ampliación del sistema y la adaptación en la evolución del mismo. Además, supone un menor coste en el desarrollo del proyecto por no requerir el uso de licencias.
  - Sobre estos tres niveles presentados e interactuando con los dos últimos se desarrolla la capa de aplicaciones.

Las múltiples aplicaciones del sistema pueden dividirse en tres grandes grupos: aplicaciones relacionadas con la gestión del tráfico de buques, aplicaciones en materia de seguridad, y por último, aplicaciones relativas al cuidado y preservación del entorno.

Dentro del primer grupo de aplicaciones se incluyen actividades como la señalización luminosa de las vías, la detección de los datos asociados a las embarcaciones que navegan por la zona o la monitorización del calado de la ría.

La tarea de señalización luminosa es básica y de primordial importancia, pues esta es para la que fueron diseñadas las boyas. Adicionalmente y, gracias a la nueva infraestructura en desarrollo, se pueden realizar actividades para conocer el estado del entorno y obtener información sobre los barcos y su movimiento.

Aquí vuelven a tener un papel muy importante los agentes y las técnicas y herramientas propias de la DAI. Apoyados en ellas y basado en la cooperación entre los agentes, el sistema toma decisiones sobre las acciones a acometer para gestionar el tráfico.

Las aplicaciones relativas a la seguridad permiten proteger tanto a las embarcaciones circulantes por la vía como a la propia infraestructura. Entre las actividades que se engloban

en esta línea pueden señalarse la detección temprana de olas y la capacidad de emitir señales acústicas o aumentar la intensidad luminosa de la señalización según las zonas y condiciones de navegación.

La gestión, tratamiento y aprovechamiento que de la información recogida para estas actividades realizan los agentes permite adelantarse a situaciones de peligro. Esto es posible gracias a la capacidad de aprendizaje de los agentes que les permite identificar situaciones de peligro potenciales.

Por último, las aplicaciones de tipo medioambiental dotan de funcionalidad añadida al sistema. Se aprovechan de la gran cantidad de información recogida por los sensores para conocer el estado de las aguas y detectar vertidos no autorizados o simplemente, la calidad de las mismas para ser empleada en las plantaciones cercanas. La capacidad del sistema para la toma de medidas meteorológicas permite el empleo del mismo como una red de mini-estaciones ambientales.

De este modo, se aprecia la naturaleza global e integradora del sistema en un entorno marítimo-fluvial como el del río Guadalquivir, en el que conviven actividades naturales y artificiales de tan distinta naturaleza como la agricultura o el transporte de mercancías.

## **5. Conclusiones**

El proyecto BOYAS, actualmente en desarrollo, resulta un marco real adecuado para el estudio y comprensión de las múltiples facetas a considerar tanto para la implementación de una WSN como de un MAS. Este estudio pone de manifiesto los aspectos que han llevado a su confluencia a nivel de investigación, al mismo tiempo que hace patente cuáles son los puntos más desafiantes de sus desarrollos y las posibilidades para afrontarlos. De este modo se ofrece una visión panorámica de este tipo de sistemas a través de la particularización para el entorno marítimo-fluvial del río Guadalquivir.

## **Agradecimientos**

Al Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IIIA-CSIC), especialmente, al investigador Carles Sierra por su colaboración y ayuda.

## **Referencias**

Akyildiz, I.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, E. (2002). "A survey on Sensor Networks". *IEEE Communications Magazine*, 40(8):102-114.

Jennings, N.; Sycara, K.; Wooldridge, M. (1998). "A roadmap of Agent Research and Development". *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1:7-38.

Tubaishat, M.; Madria, S.K. (2003). "Sensor Networks: An overview". *IEEE Potentials*, 22(2):20-23.

Vinyals, M.; Rodriguez-Aguilar, J.A.; Cerquides, J. (2008). "A Survey on Sensor Network from a Multi-Agent perspective". *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Agent Technology for Sensor Networks (ATSN'08)*.

Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The MIT Press.

