

# Redes inalámbricas en maquinaria agrícola

L. RUIZ-GARCÍA<sup>(1)</sup>, J. RODRÍGUEZ BERMEJO<sup>(2)</sup>, P. BARREIRO<sup>(1)</sup>, M. RUIZ-ALTISENT<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup>Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>(2)</sup>Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. CENIM-CSIC.

En el presente artículo se describe el estado del desarrollo e implantación de redes inalámbricas en el ámbito de la mecanización agraria, analizando tanto las aplicaciones recientes a nivel de investigación como los desarrollos actuales de las principales empresas fabricantes de maquinaria.

**S**e entiende como "comunicación digital" la transmisión de señales mediante un tren de pulsos. El término "comunicación inalámbrica" se utiliza en el ámbito de las tecnologías de la información y de la comunicación para referirse a los sistemas en donde diferentes aparatos se comunican entre sí sin cables, utilizando para ello ondas radioeléctricas mediante un emisor y uno o varios receptores.

Los progresos realizados en las tecnologías de la información en los últimos años, y en particular las redes inalámbricas, han revolucionado las comunicaciones a todos los niveles: industrial, doméstico, comercial, etc.

La maquinaria agrícola no ha permanecido ajena a estos cambios. En 1996 John Deere introdujo en el mercado la primera máquina que contaba con comunicación inalámbrica. A nivel de investigación, en los últimos años se han conseguido notables avances en diferentes entornos: comunicación intramá-

quina, comunicación máquina-máquina, comunicación máquina-estación base (Guo y Zhang, 2002).

La transmisión inalámbrica no supone una novedad en sí misma. La primera patente de comunicaciones inalámbricas fue concedi-

da a Guglielmo Marconi en el Reino Unido en 1896; se trataba del telégrafo. Desde entonces ha evolucionado mucho y su uso se ha extendido a numerosos ámbitos: telefonía móvil, televisión por satélite, mandos a distancia de electrodomésticos, etc. Lo novedoso es su aplicación en las redes de datos. En 1997 se publicó el estándar IEEE 802.11 ([www.ieee.org](http://www.ieee.org)) que permitió la tecnología Wi-Fi (Wireless-Fidelity), muy extendida en la actualidad. Según un estudio elaborado por International Data Corporation (IDC) y recogido por el fabricante de microprocesadores Intel. Se prevé un crecimiento en el número de puntos de acceso has-

ta alcanzar las 110.000 instalaciones en el año 2008 ([www.intel.com](http://www.intel.com)).

El principal atractivo de las redes inalámbricas es la posibilidad de combinar de manera flexible y ubicua gran cantidad de nodos a distancias vanas e incluso superiores a las de las redes alámbricas.

Existen numerosos protocolos y tipos de redes inalámbricas. En el presente artículo se explican las ventajas que proporcionan estos sistemas y sus aplicaciones en mecanización agraria en el presente. Algunas se espera que aparecerán en un futuro próximo.

Durante la cosecha de cereal es muy importante la comunicación entre cosechadora y remolque.



## Ventajas e inconvenientes de las redes inalámbricas

Las principales ventajas de las redes inalámbricas pueden resumirse en:

- **Movilidad.** Las redes inalámbricas proveen acceso a la información en tiempo real desde cualquier punto. Esta movilidad incluye oportunidades de productividad y servicio que no son posibles con una red alámbrica.

- **Simplicidad y rapidez en la instalación.** La instalación de una red inalámbrica puede ser muy rápida y sencilla, ya que elimina la necesidad de desplegar cable a través de paredes y techos. Por ejemplo, en una red de área local (LAN) la tarea que suele consumir mayor tiempo en la instalación de la red es desplegar los cables que se emplean para enlazar los diferentes puntos.

- **Flexibilidad.** Los sistemas inalámbricos pueden ser configurados en una gran variedad de tipologías para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones son

muy fáciles de cambiar y además es muy fácil la incorporación de nuevos usuarios a la red.

Lamentablemente, como ocurre con todas las tecnologías, existen inconvenientes. Los más importantes son:

- **Seguridad.** En redes inalámbricas, el concepto de la seguridad se extiende más allá de lo que representaba en las redes cableadas. El hecho de poder acceder a tráfico de red sensible sin ser necesaria una presencia física obliga a extremar las medidas de seguridad.

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi

(IEEE 802.11) es la seguridad. Un muy elevado porcentaje de redes se ha instalado por administradores de sistemas o de redes por su simplicidad de implementación, sin tener en consideración la seguridad, y por tanto han convertido sus redes en redes abiertas, sin proteger el acceso a la información que por ellas circula (Barajas, 2004).

Orthus, una organización del Reino Unido dedicada a la informa-

*Las principales ventajas de las redes inalámbricas son: movilidad, simplicidad y rapidez de instalación, flexibilidad y seguridad*

ción sobre seguridad, realizó un estudio en 2002 sobre la seguridad de las redes inalámbricas en Europa. Con un equipo que consistía en un ordenador portátil equipado con una tarjeta *wireless* y un *software* de detección de red aérea, comprobó que de las 1.689 redes accesibles desde las calles de siete de las más importantes ciudades europeas, sólo el 31% tenía habilitado WEP (Wired Equivalent Privacy, el equivalente a la privacidad con redes físicas) para cifrar su tráfico. El 57% mantenía su red con los valores por defecto que vienen de fábrica y el 43% cometía otros grandes errores que hacían muy fácil la detección e interceptación del

Monitor inalámbrico para aplicación de amonico.



tráfico ([www.orthus.com](http://www.orthus.com)).

Para poder considerar una red inalámbrica como segura, ésta debería cumplir con los siguientes requisitos:

- Las ondas de radio deben confinarse tanto como sea posible. Esto es difícil de lograr total-

mente, pero se puede hacer un buen trabajo empleando antenas direccionales y configurando adecuadamente la potencia de transmisión de los puntos de acceso.

- Debe existir algún mecanismo para dar autenticidad en doble vía, que permi-

ta verificar que se está conectando a la red correcta y constatar que el cliente está autorizado para acceder a ella.

- Los datos deben viajar cifrados por el aire para evitar que equipos ajenos a la red puedan capturar datos mediante escucha pasiva (Mardos, 2004).

- **Velocidad de transmisión de datos.** Inferior a las de las redes cableadas, los estándares que funcionan a más velocidad están alrededor de los 100 Mbps (134 Mbps en el caso de IEEE 802.16), muy lejos todavía de las redes de fibra óptica, actualmente a 1,7 Gbps.

- **Consumo eléctrico de los dis-**

positivos. Es algo a tener muy en cuenta en las redes inalámbricas de sensores. Los aparatos presentes en estas redes deben consumir poca energía para evitar el cambio constante de baterías. El reto es lograr aplicaciones en tiempo real y eficientes energéticamente (Edgar y Callaway, 2004).

- **Riesgos para la salud.** La exposición externa a campos electromagnéticos puede ocasionar daños en el cuerpo humano, por ello la tecnología inalámbrica ha sido cuestionada. Los efectos de la exposición dependen principalmente de la frecuencia y de la magnitud o potencia del campo electromagnético.

En el año 2001 un grupo de trabajo conformado por científicos expertos de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer de la OMS revisó estudios relacionados con la cancerigenicidad de los campos eléctricos. Entre otras, llegaron a las siguientes conclusiones:

- La exposición a campos de radiofrecuencia de bajo nivel o potencia no causa efectos adversos a la salud.

- Los equipos inalámbricos operan a muy baja potencia (la potencia radiada máxima no supera los 100 mW, según la norma UN-85 d) y los campos magnéticos que generan son muy débiles. Por tanto, se podría excluir cualquier riesgo para la salud (Stewart Report, 2000).

## Tipos de redes inalámbricas de datos

Las comunicaciones inalámbricas se pueden dividir en una serie de grupos de acuerdo con su alcance.

### Redes inalámbricas de área personal o WPAN (Wireless Personal Area Network)

Cubren distancias inferiores a los diez metros. Estas soluciones están pensadas para inter-

conectar los distintos dispositivos de un usuario (por ejemplo, el ordenador con la impresora), así como las redes inalámbricas de sensores o WSN (Wireless Sensor Networks) que no sobrepasen las dimensiones antes citadas. En estos casos las tecnologías a aplicar serían Bluetooth o Zigbee.

Bluetooth trabaja a una velocidad de datos de hasta 10 Mbps, superior a la de Zigbee. Se puede ver que Bluetooth y Zigbee tienen similares corrientes en transmisión (**cuadro I**), pero Zigbee tiene unos recursos significativamente mejores, más baja corriente en reposo. Esto es debido a que los dispositivos en redes Bluetooth deben dar información a la red con frecuencia para mantener la sincronización, así que no pueden ir fácilmente en modo *sleep* (Llorente, 2003; www.bluetooth.org; Mayné, 2004).

### Redes inalámbricas de área local o WLAN (Wireless Local Area Network)

Cubren distancias de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre ordenadores y terminales situados en un mismo edificio o grupo de edificios. Éste es el caso de Wi-Fi (802.11a,b,g) (**cuadro II**).

El primer estándar Wi-Fi (802.11b) incorpora desde su origen un sistema de seguridad denominado WEP (Wired Equivalent Privacy), basado en la encriptación de la información. De todas formas, la popularización de las redes Wi-Fi puso de manifiesto ya en sus inicios que WEP presentaba una serie de vulnerabilidades, debido principalmente al uso de claves estáticas de pocos bits y a un sistema de autenticación débil, que lo hacían poco útil para redes corporativas. La nueva versión del protocolo, 802.11i, que incorpora un cifrado basado en el intercambio de claves, es decir, PKI, sí representará ya una adecuada herramienta

**Cuadro I. Especificaciones de IEEE 802.15.4 y Bluetooth.**

	Zigbee	Bluetooth
Estándar	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1
Bandas de frecuencia y rango de transmisión de datos	868 MHz: 20 kb/s 915 MHz: 40 kb/s 2,4 GHz: 250 kb/s	2,4 - 2,48GHz 1 Mbps (v.1) 10 Mbps (v.2)
Alcance	10-20 m.	10 m (v.1) 100 m (v.2)
Corriente en transmisión	35 µA	40 µA
Corriente en reposo	3 µA	200 µA

**Cuadro II. Especificaciones de los estándares IEEE 802.11.**

Estándar	Espectro	Tasa física máxima	Compatibilidad
IEEE 802.11	2.4 GHz	2 Mbps	No
IEEE 802.11a	5.0 GHz	54 Mbps	No
IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	802.11
IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	802.11/802.11b

de protección del tráfico de nuestras redes (Caraballar, 2003; www.wi-fi.org).

### Redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Los protocolos LMDS (Local Multipoint Distribution Service o Servicio Local de Distribución Multipunto) o MMDS (Multichannel Multipoint distribution Service o Servicio Multicanal de Distribución Multipunto) ofrecen soluciones de este tipo. En el año 2005 se espera la publicación del estándar IEEE 802.16e, que se integra en la familia de estándares WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access o Intercomunicación Mundial para Acceso por Microondas), junto con el 802.16, 802.16a, 802.16b/c y 802.16d, que funcionan en la banda de frecuencias 10-66 GHz, proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y velocidades

de hasta 134 Mbps (Arnaiz et al., 2004).

### Redes globales

Con posibilidad de cubrir toda una región (país o grupo de países), estas redes se basan en la tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz. En comunicaciones móviles de voz se les llama 1G (primera generación) a los sistemas analógicos, tipo NMT (Nordic Mobile Telephony) o AMPS (Advanced Mobile Phone System). Dentro de la 2G (segunda generación) tenemos los digitales, tipo GSM (Global System for Mobile Communications) o CDMA (Code Division Multiple Access). En la 2.5 G aparecen los digitales con soporte para datos a alta velocidad (tipo GPRS, IS-95B o EDGE, Enhanced Data for GSM Evolution) y 3G o tercera generación a los nuevos sistemas de telefonía celular con gran ancho de banda. Este último es el caso de UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) o CDMA-2000, por ejemplo. Simultáneamente a la implantación de

las redes 3G, se está desarrollando la tecnología 4G. Los dispositivos equipados con tecnología 4G podrán recibir señales de hasta 100 Megabits por segundo en movimiento y hasta un Gigabit por segundo en modo estático. Se espera que la primera red comercial 4G esté disponible en el año 2010 (www.4g.co.uk).

## Aplicaciones

Las grandes compañías de maquinaria agrícola están apostando fuerte por esta tecnología. En el año 2003 CNH (Case-New Holland) firmó un acuerdo con Qualcomm, una de las empresas líderes en sistemas inalámbricos a nivel mundial, para la integración de sistemas de gestión de flotas en sus máquinas. En ese mismo año el grupo Agco firmaba una alianza con la compañía CSI wireless para el suministro de componentes inalámbricos para sus máquinas. Por otra parte, John Deere tiene una filial llamada Navcom Technology Inc. especializada en GPS y comunicaciones inalámbricas.

### Comunicación intramáquina (WPAN)

Los tractores, cosechadoras y algunas máquinas agrícolas de última generación incorporan multitud de dispositivos electrónicos interconectados, integrados en redes de control de área o CAN (Controller Area Network), utilizando el estándar CANbus 2.0. El incremento de las prestaciones de control ha ido acompañado de un aumento del número de cables, ECUS, sensores y actuadores presentes en las máquinas.

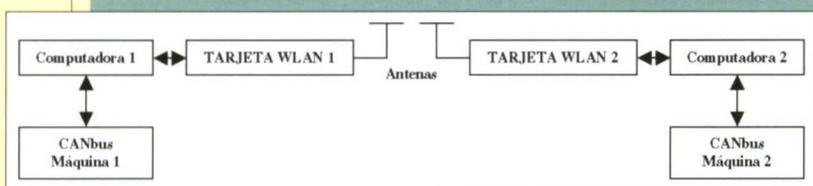
Actualmente, con la tecnología disponible, se pueden conectar entre sí las distintas zonas de una misma máquina prescindiendo de los cables, mediante una red inalámbrica. La creación de redes inalámbricas de sensores o WSN (Wireless Sensor Networks) conlleva numerosas ventajas. La supresión de los cables facilita las tareas de manteni-

miento y reparación y elimina el problema derivado del seccionamiento de los cables.

### Comunicación máquina-máquina (WLAN)

Los recientes progresos en las tecnologías para redes inalámbricas de área local (WLAN) han hecho posible la transmisión de datos en tiempo real de un vehículo a otro (figura 1). Por ejemplo, hoy en día una cosechadora de maíz es capaz de llenar su tolva de grano en menos de seis minutos y es capaz de descargar el grano almacenado a un remolque en sólo dos minutos y medio. Si más de una cosechadora está trabajando al mismo tiempo, la planificación de los movimientos de los remolques es una tarea crítica, ya que es indeseable que la cose-

**FIGURA 1.**  
Arquitectura de una red inalámbrica en comunicación máquina-máquina



chadora pare de trabajar y tenga que esperar a que llegue el remolque para descargar. Por ello, inves-

tigadores del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Illinois han desarrollado e imple-

mentado un sistema inalámbrico de comunicación en tiempo real que permite:

- Al tractor que lleva el remolque, conocer la velocidad de avance de la cosechadora con el objetivo de ayudar durante el proceso de descarga en marcha.
- Al operario que maneja el tractor, disponer de información del llenado de la tolva de la cosechadora en tiempo real.
- Ver en tiempo real un mapa con la localización de las máquinas en el campo.
- Predecir el lugar en que estará la cosechadora dentro de la parcela en el momento en que la tolva se llene ([www.age.uiuc.edu](http://www.age.uiuc.edu)).

### Comunicación máquina-estación base (WMAN-redes globales)

En la actualidad, las máquinas agrícolas registran los datos

# Kubota



TRACTORES KUBOTA

# SERIE ME

Un nuevo aire en las prestaciones de los tractores recorre Europa



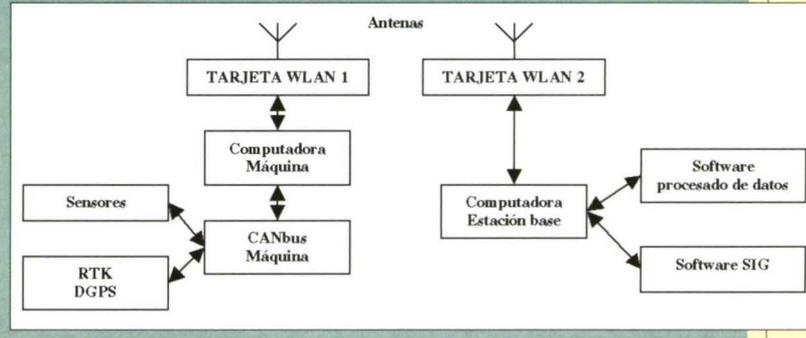
# Kubota

en el campo en una tarjeta de tipo PC Card (mal llamadas PCMCIA) y luego son descargados en el ordenador de la estación base (figura 2). Este sistema tiene una serie de limitaciones, como la capacidad de las tarjetas utilizadas (32 Mb) y la imposibilidad de transmisión en tiempo real.

Implementar una red inalámbrica entre una máquina que está trabajando en el campo y una estación remota abre grandes posibilidades de cara a la agricultura de precisión. Esta red nos permite disponer de un sistema de supervisión y control de la máquina mientras está trabajando, es decir, en tiempo real. Los ensayos que se han realizado toman los datos automáticamente y los envían a una estación remota donde son procesados. (L.S. Guo; Q. Zhang, 2005). Esta estación está dotada de un sistema de ayuda a la toma de decisión con una transferencia de 2 Mb/s y abarca un radio de 3-2 km.

Otro ejemplo de este tipo de aplicaciones son los sistemas de gestión de flotas, que suponen un avance en la optimización de los recursos en las explotaciones agropecuarias. Por

**FIGURA 2.** Arquitectura de una red inalámbrica en comunicación máquina-estación base.



ejemplo, John Deere en sus tractores y cosechadoras incorpora JD Link, un sistema para la gestión de flotas que combina las tecnologías GSM y GPS (figura 3) (www.deere.com).

Las redes inalámbricas también se han utilizado para el teleguiado de tractores. El laboratorio de maquinaria agrícola de la Universidad Católica de Lovaina lleva dedicado a este propósito desde el año 2002 en lo que supone un paso intermedio hacia un guiado completamente autónomo del mismo (www.agr.kuleuven.ac.be).

No se espera que las redes inalámbricas lleguen a reemplazar a las redes cableadas. Lo lógico es aprovechar las ventajas que nos ofrece cada una de ellas creando redes híbridas que cuenten con zonas cableadas y zonas inalámbricas.

Las aplicaciones reseñadas en este artículo sólo son "la punta del iceberg"; en pocos años los avances tecnológicos en este campo permitirán un amplio abanico de prestaciones.

Para los países en vías de desarrollo, las comunicaciones inalámbricas, tanto en la agricultura como en otros ámbitos, suponen una gran oportunidad ya que en muchos casos el coste de implantación de una red inalámbrica es menor que el coste de implantación de las comunicaciones tradicionales con cables.

Para garantizar la compatibilidad de las diferentes redes inalámbricas utilizadas por las máquinas, es imprescindible que los fabricantes consensúen un estándar común, tal y como se ha producido en la comunicación multiplexada entre tractor y equipos denominada genéricamente ISOBUS (ISO 11783). ■

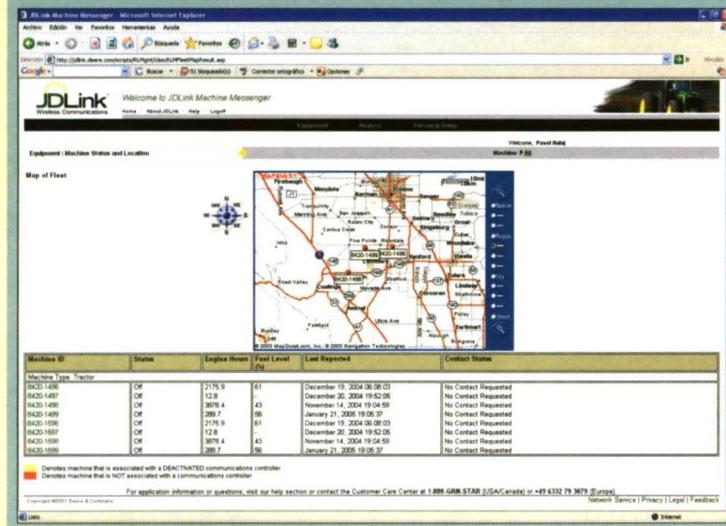
**Comunicación entre la parcela y la máquina (WMAN)**

En la investigación en redes inalámbricas de sensores llevada a cabo en los últimos años ha aparecido el concepto de "parcelas inteligentes". Empresas como Intel y Accenture están trabajando en este tema. En EE.UU. y Canadá se han realizado pruebas con redes de sensores inalámbricos en viñedo, situando sensores estáticos en la parcela que medían la temperatura del aire y enviaban la señal cada minuto a un ordenador colocado en una estación base (www.intel.com). El siguiente paso puede ser implantar redes de sensores inalámbricos que detecten daños producidos por plagas y enfermedades, contenido en grados Brix, humedad del suelo, etc. Y en el futuro es de esperar que los sensores que están en el campo se comuniquen con las máquinas. Por ejemplo, un pulverizador podría conocer en tiempo real qué zonas de la parcela están más atacadas por un patógeno y por tanto acotar dónde es necesario realizar el tratamiento.

**Conclusiones**

Las redes inalámbricas al servicio de la sensórica son una herramienta muy útil en agricultura de precisión. Permiten anticiparse a las necesidades del agricultor y actuar en consecuencia automáticamente.

**FIGURA 3.** Aplicación para la gestión de flotas de maquinaria basada en GPS y GSM.



**Bibliografía**

Edgar, H., Callaway, JR. 2004. Wireless sensor networks. Auerbach publications. USA.

L.S. Guo, Q. Zhang. 2002. A Wireless LAN for Collaborative Off-road Vehicle Automation. Pp. 51-58 in Automation Technology for Off-Road Equipment, Proceedings of the July 26-27, 2002 Conference (Chicago, Illinois, USA).

L.S. Guo; Q. Zhang. 2005. Wireless Data Fusion System for Agricultural Vehicle Positioning. Biosystems Engineering

Madrid, J.M. 2004. Seguridad en redes inalámbricas. Revista S & T: Sistemas y Telemática nº 3.

Llorente, A. 2003. Redes de comunicación inalámbricas: La tecnología Bluetooth Revista Bioingeniería

Mayné, J.. 2004. IEEE 802.15.4 y Zigbee. www.silica.com

Caraballar, J. A. 2003. Wi-Fi: Cómo construir una red inalámbrica. Ra-Ma.

Barajas, S. 2004. Protocolos de seguridad en redes inalámbricas. Saulo Barajas. Universidad Carlos III de Madrid. www.saulo.net

Stewart Report. 2000. Mobile Phones and Health. Report of Independent Expert Group on Mobile Phones. National Radiation Protection Board NRPB, London, UK (http://www.iegmp.org.uk).

Arnaiz et al. 2004. Especial WiMAX 802.16. El proceso de estandarización. Revista telesemana.