

Propuesta de Arquitectura de Red de Datos para el Proyecto Campo Conectado

Lucas E. Ramero¹, Adolfo A. Silnik¹, Alfredo F. Debattista¹, Roberto A. Kiessling¹ y Alejandro A. Valenzuela²

¹ Universidad Nacional de San Luis, Laboratorio de Electrónica, Investigación y Servicios, Ejército de los Andes 950, D5700HHW - San Luis - Argentina
{leramero, aasilnik, adeba, rkiessling}@unsl.edu.ar
<http://leis.unsl.edu.ar>

² Universidad de Ciencias Aplicadas de Bonn-Rhein-Sieg, Grantham-Allee 20, 53757 Sankt Augustin, Alemania,
alejandro.valenzuela@h-brs.de
<https://www.h-brs.de/de/emt/>

Resumen. En el siguiente trabajo se presentan las diferentes alternativas tecnológicas que brindarán soporte para las comunicaciones en el Proyecto Campo Conectado, priorizando el bajo consumo y mantenimiento. Esta plataforma de transmisión proveerá la conectividad necesaria para la recolección y envío de los datos requeridos por los productores agropecuarios, con el fin de mejorar la gestión de los procesos productivos y comerciales. Se comenta además los orígenes del proyecto y los actores involucrados en el mismo, destacándose el trabajo interinstitucional e interdisciplinar que se lleva a cabo.

Palabras Clave: AgroTICs, Redes de Sensores inalámbricos, WSN, Bluetooth, 6LoWPAN, ZigBee, LoRaWAN.

1 Introducción

La evolución de las tecnologías electrónicas y de telecomunicaciones con su disminución de costos y aumento de prestaciones, hace viable su utilización para el sensado remoto, recolección y transmisión de la información. Las Redes de Sensores Inalámbricos o *WSN* por sus siglas en inglés, son sistemas que integran varios aspectos de la electrónica: sensado, procesamiento y adecuación de señales, sistemas embebidos, automatización, control y comunicaciones (desde la transmisión y recepción de señales electrónicas al desarrollo e implementación de protocolos de enrutamiento y seguridad).

La importancia de estas tecnologías para el ámbito productivo está reconocida en el “*Libro Blanco de la prospectiva TIC: proyecto 2020*” editado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en el año 2009, donde se definen las TIC para el sector Agropecuario y Agroindustrial o AgroTICs como la “oferta tecnológica o segmento de aplicaciones e infraestructuras informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones orientado a administrar, almacenar, transmitir y hacer interactuar la información generada a todo nivel por la actividad del sector agropecuario y agroindustrial y su escenario territorial, en función de mejorar la gestión de los procesos

productivos y comerciales de los bienes que de dicha actividad surgen, así como de mejorar las condiciones tecnológicas del entorno en el cual ocurren.”

El proyecto Campo Conectado es una apuesta a futuro realizada en conjunto por importantes instituciones en la región con el objetivo común de fomentar el desarrollo y la implementación de tales tecnologías que aporte a las prácticas sociales, productivas y comerciales de los actores de la producción agropecuaria del semiárido central argentino.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Maestría Binacional Argentino-Alemana, 2012-2017

Dentro del Área de Electrónica, de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, de la Universidad Nacional de San Luis, hace tiempo se halla conformado un grupo de trabajo con foco en el área de Redes de Sensores Inalámbricos y con la perspectiva de desarrollo de aplicaciones orientadas a resolver, desde la electrónica y los sistemas embebidos, problemáticas ligadas a la agricultura, la ganadería, la agroindustria y el medio ambiente.

En este contexto de trabajo, en el año 2012 surgió la gran posibilidad de articular una cooperación universitaria internacional, para desarrollar carreras de posgrado en el marco del Programa Binacional para el Fortalecimiento de Redes Interuniversitarias Argentino-Alemanas, el cual es coordinado por el Centro Universitario Argentino-Alemán (CUAA-DAHZ). Así, en 2013 se concretó la Maestría en Diseño de Sistemas Electrónicos aplicados a la Agronomía, en régimen de doble titulación, entre la Universidad Nacional de San Luis (UNSL, www.unsl.edu.ar) y la Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (HBRS, www.h-brs.de), Universidad de Ciencias Aplicadas, Sankt Augustin, Alemania; carrera que posee las correspondientes acreditaciones oficial en ambos países (CONEAU y ASIIN) y cuenta con un fuerte componente de conocimientos de la ingeniería electrónica, con el agregado de contenidos específicos en agronomía.

La Maestría se constituyó en el eje de un ecosistema, en el cual se conjugan múltiples actores, que han colaborado directa y profundamente en ampliar el objetivo académico inicial, para dar lugar a una enorme oportunidad de crecimiento, tanto en el área de la educación como de la tecnología aplicada, en pos del desarrollo sustentable, la mejora social y la resolución de problemas prácticos.

El Centro Regional La Pampa – San Luis, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, www.inta.gob.ar), en Argentina, y el Instituto de Microsistemas Electrónicos de Freiburg (IMTEK-UniFreiburg, www.imtek.de), la Facultad de Agronomía de la Universidad de Bonn (UniBonn, www.lwf.uni-bonn.de) y el Instituto Fraunhofer para Tecnologías de la Información Aplicadas (Fraunhofer-FIT, www.fit.fraunhofer.de), en Alemania, son parte de dicho ecosistema. Particularmente, INTA es responsable de coordinar los cursos del 3º Semestre y dictar muchos de ellos, con profesionales de los diferentes centros de investigación y estaciones experimentales que posee principalmente en las provincias de San Luis y La Pampa, como así también aportar profesores invitados, de Córdoba, Mendoza y Buenos Aires.

Actualmente, se ha ampliado la cooperación a través de proyectos financiados mediante Programas Binacionales BMBF-MINCYT, de ciencia y técnica, con misiones exploratorias para profundizar acciones de investigación aplicada y formación de estudiantes de grado y posgrado. Asimismo se ha ampliado el trabajo interdisciplinario a otras áreas del conocimiento, dentro de la UNSL y el INTA, con acciones coordinadas con otras instituciones de educación superior, del Gobierno de la Provincia de San Luis y de ONGs, como posteriormente se explica, en el presente documento.

1.1.2 CAI 2013 - 5º Congreso Argentino de Agroinformática

Dentro de las actividades de promoción y captación de candidatos para la Maestría, se participó en el CAI 2013, donde se presentó la carrera binacional y se pretendió posicionar a la carrera como un ámbito interdisciplinario, de trabajo cooperativo y con objetivos concretos de integrar conocimientos del campo de electrónica, automatización, control y telecomunicaciones y sus aplicaciones en la producción agropecuaria, a la vez de formar recursos humanos en docencia e investigación que enriquezcan el sistema Científico-Académico en esa área y contribuyan al mejoramiento de la enseñanza de las Ciencias Aplicadas, sobre la base de relaciones concretas preexistentes. Como corolario, se visualizó la oportunidad de formar recursos humanos con capacidad consultiva y de desarrollo, con respecto al sector productivo.

1.1.3 Ciclo AgroTIC, 2016-2017

A inicios del año 2016, se concreta un paso más en la cooperación interdisciplinaria a nivel de la Provincia de San Luis, desarrollando un ciclo de divulgación y capacitación, denominado Ciclo AgroTIC (<http://agrotic.info/>), que nace con el objetivo de profundizar acerca del rol, la potencialidad y el alcance real de las TIC en el ámbito productivo agropecuario de la provincia. Con la participación de la UNSL y el INTA, más el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de San Luis, la Facultad de Ciencias Veterinarias - Universidad Católica de Cuyo, y la Fundación de Investigación Social Argentino Latinoamericana - FISAL, se generó una plataforma para la difusión de diversos desarrollos tecnológicos - tanto actuales como potenciales - de la agricultura y la ganadería en tiempos de Internet, las comunicaciones inalámbricas y el Big Data, a la vez que promover la discusión crítica sobre sus posibles aplicaciones en el semiárido central argentino.

Así, más de 600 asistentes se interiorizaron en temas como los cercos ganaderos virtuales, la impresión 3D en el ámbito productivo, la trazabilidad electrónica en el agro, la gestión de la información en los agronegocios, las imágenes y mapas para potenciar la actividad agropecuaria, la revolución digital, el desarrollo y la producción. Durante 2017 se continuará con el ciclo, combinado con un proyecto demostrativo en una unidad productiva, descrito en el siguiente punto, que dará el entorno para el desarrollo de aplicaciones y soluciones prácticas, junto a la formación interna y externa de recursos humanos.

1.1.4 Proyecto Campo Conectado, 2017-2018

El siguiente eslabón en la espiral cooperativa interdisciplinaria es haber participado, la UNSL y el INTA, de la convocatoria de Proyectos de Vinculación Tecnológica "Universidades Agregando Valor", de la Secretaría de Políticas Universitarias - Ministerio de Educación de la Nación, obteniendo financiamiento para el periodo 2017-

2018, de la propuesta “Campo Demostrativo Conectado para el Desarrollo de Aplicaciones AgroTICs”. Esto ha dado origen a una nueva vinculación entre las cinco instituciones del Ciclo AgroTICs, en su conjunto, sumando a un productor rural del centro de la Provincia de San Luis, cuya unidad productiva es el núcleo de experimentación del mencionado proyecto.

1.2 Trabajos relacionados

Como resultado de las colaboraciones antes mencionadas, se pueden enumerar 3 tesis de maestría finalizadas, 2 trabajos finales de Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales concluidos y 3 en desarrollo. En todos estos trabajos han participado los integrantes del presente proyecto, en forma individual o colectiva bajo la premisa de articular acciones concretas en el marco de la colaboración y con relación al tema convocante.

Las tesis finalizadas en el marco de la maestría binacional son: “Nodo inalámbrico para la medición de parámetros ambientales” [12], “Medición y evaluación de variables críticas del hábitat en distintas coberturas vegetales” [13] y “Dispositivo de monitoreo remoto de sistemas de riego por aspersión” [14].

Los trabajos finales de Ingeniería Electrónica O.S.D. concluidos son “Sistemas de Parcelas Virtuales con Alerta de Proximidad, Aplicado a la Ganadería” [15], “Desarrollo de Sensor Electrónico de Humedad en Suelos” [16], mientras que se encuentran en desarrollo trabajos finales en las áreas de “captación de energía del ambiente para sistemas electrónicos autónomos”, “geolocalización de animales con tecnología Zigbee” y dos trabajos de análisis y verificación de modelos de propagación para comunicaciones inalámbricas de bajo consumo en ambientes rurales.

Si bien todos los temas desarrollados están en el marco de la colaboración antes descrita, adolecen de un objetivo común que los unifique en su totalidad, cuestión abordada en el presente proyecto de Campo Conectado, el cual unifica y ordena los esfuerzos. Los aportes científicos, tecnológicos, divulgativos, económicos y de vinculación que este proyecto nos presenta y que nos desafía a futuro, son múltiples y dan marco a la explicación y desmenuzamiento que sigue a continuación.

2 Objetivos

El objetivo del Proyecto de Vinculación Tecnológica Campo Demostrativo Conectado es montar una plataforma experimental para el desarrollo, aplicación, ensayo, validación y difusión de tecnologías de información y comunicaciones para la producción agropecuaria regional.

2.1 Objetivos Específicos

1. Implementar una red de sensores inalámbricos en un campo real.
2. Desarrollar sensores específicos para la actividad productiva agrícola y ganadera en la región.
3. Reforzar los vínculos entre los múltiples actores intervinientes: UNSL,

INTA Estación Experimental Agropecuaria San Luis, Gobierno de San Luis - Ministerio de Ciencia y Tecnología, Universidad Católica de Cuyo (UCCuyo)- Sede San Luis y la Fundación para la Investigación Social Argentino Latinoamericana (FISAL).

2.2 Metas

1. Desarrollo de la red de comunicación de datos en el campo y vinculación de esta a Internet.
2. Determinación interdisciplinaria de los parámetros de interés a ser medidos en los procesos productivos.
3. Desarrollo conjunto de los sensores, e implementación de recolección, transmisión, almacenamiento y análisis de datos obtenidos.
4. Difusión en el medio productivo regional de los resultados obtenidos, planteo de futuras mejoras o ampliaciones al Proyecto

Se pretende diseñar e implementar un sistema modular heterogéneo de comunicación de datos en un sistema productivo real, realizar pruebas de campo y establecer las limitaciones y posibles soluciones aplicables. Para esto, se ensayarán en condiciones de campo reales las tecnologías disponibles, para obtener la información requerida para el diseño de redes jerárquicas, en particular, el alcance de los enlaces, su confiabilidad, consumo energético y la dependencia de estos parámetros a factores ambientales.

Se generará una plataforma de pruebas, para el ensayo en campo de tecnologías de redes de sensores inalámbricos, para determinar valores reales de parámetros de alcance, confiabilidad y consumo energético y su dependencia a factores ambientales. A partir del análisis de los datos recabados en campo, se modelarán y simularán redes de sensores inalámbricos para la comparación de diversas propuestas de arquitectura jerárquica de red. La plataforma de pruebas también se utilizará para el ensayo en campo de tecnologías aportadas por los socios internacionales del proyecto, incluidas firmas privadas que desean validar sus productos y dar exposición a su propiedad intelectual.

Durante el proyecto, los estudiantes de grado y posgrado de las diversas instituciones y áreas participantes en el proyecto tendrán un rol importante mediante el desarrollo de Prácticas Preprofesionales Supervisadas, Trabajos Finales de Carrera, Tesis y actividades de Investigación y Desarrollo Aplicadas en un área de gran interés para la ciencia y la técnica actual y de gran demanda, no solo en nuestro ambiente productivo regional sino en el mundo.

3 Plan y cronograma de actividades

De forma general el proyecto puede dividirse en cuatro etapas.

La primera, actualmente en desarrollo, consiste en la adquisición de módulos de comunicación de diversas tecnologías y fabricantes, el estudio de sus entornos de

programación y la realización de ensayos de laboratorio tendientes a determinar a priori los consumos eléctricos de los mismos en sus distintos modos de funcionamiento o estados (transmisión y recepción de datos, medición y sensado de parámetros, procesamiento y almacenamiento de la información, gestión de protocolos y estados de bajo consumo energético). Esto es condición necesaria para el dimensionamiento de los sistemas de captura y almacenamiento de energía y la óptima regulación del ciclo de trabajo de los nodos de la red.

En la segunda etapa del proyecto, actualmente en planificación, se realizarán ensayos en campo de alcance y confiabilidad de las diversas tecnologías de enlaces de datos seleccionadas en la etapa anterior. A partir de la información recabada en esta etapa se podrán realizar las primeras aproximaciones al modelado y simulación de distintas arquitecturas de red posibles. Cabe destacar que las condiciones de propagación de las señales en campo pueden tener una gran dependencia a factores ambientales, como el contenido de humedad en suelos, tipo y estado de la vegetación tanto en su volumen como en su contenido de humedad y proteínas. Es de esperarse una variación del comportamiento de los enlaces de datos en función a las condiciones ambientales y su dependencias estacional e incluso horaria a lo largo del día.

Posteriormente, en la tercera etapa se integrarán los módulos de comunicación previamente ensayados junto con otros subsistemas de captura y almacenamiento de energía, sensores, memorias y microcontroladores de manera de formar nodos de la red de sensores. Esta tarea se realizará en laboratorio con módulos y componentes disponibles en el mercado según la técnica de prototipado rápido COTS (*commercial off-the shelf*) a fin de disminuir los tiempos y costos de desarrollo y mantenimiento. Como contrapartida se obtendrán nodos de red de mayor tamaño y peso respecto de los obtenibles mediante el diseño custom de los nodos, esta última tarea se deja para futuros trabajos.

La cuarta etapa consistirá en la instalación de los nodos antes desarrollados para formar una red de sensores inalámbricos funcional en campo. En esta etapa, se realizará el estudio del comportamiento de la red en su conjunto, no solo a nivel de enlaces de datos sino también en lo referente a la interacción de los diversos protocolos involucrados y sus efectos en la confiabilidad de la red, su disponibilidad y confiabilidad ante condiciones ambientales adversas.

Los parámetros de la red más importantes a monitorear durante esta etapa son los concernientes a la performance de la red.

La *latencia* de la red es el tiempo que tarda en transmitirse un paquete de datos dentro de la red.

El *ancho de banda efectivo* de la red es aquel realmente disponible para las aplicaciones, descontadas las transmisiones de información necesarias para el funcionamiento de la red y las sobrecargas de datos debidas a los protocolos de comunicaciones, detección y corrección de errores o posibles retransmisiones.

La *confiabilidad* de enlaces se mide en término de la tasa de error y su correlación a factores externos como humedad ambiente y de suelo, volumen de la vegetación en el camino de propagación y sus variaciones estacionales.

Esta información servirá para ajustar los modelos y simulaciones e involucrar estos parámetros ambientales.

Asimismo, durante esta última etapa, se evaluarán las operaciones de mantenimiento necesarias para mantener la red en funcionamiento, tanto en el tipo como número de tales intervenciones. De esta manera se podrán realizar y documentar las modificaciones y actualizaciones necesarias para obtener una red de datos confiable con la menor intervención posible del usuario final. Para ello se deben estudiar el comportamiento de baterías, debido al amplio rango térmico al que estarán expuestos, así como la durabilidad de carcasas, gabinetes y collarines expuestos a las inclemencias climáticas y a la interacción con los animales.

4 Aplicaciones prioritarias 2017

Como consecuencia de las reuniones entre los socios participantes del Proyecto se definieron múltiples áreas de trabajo a desarrollar, priorizando dos para comenzar a trabajar en el presente año: *Trazabilidad en sitio* y *Condición Corporal*.

4.1 Trazabilidad en sitio

Se pretende investigar el uso de tecnologías para la identificación individual de los animales del rodeo, la simplificación, sistematización y eventual automatización de los procesos de obtención, almacenamiento, procesamiento y recuperación de información de cada animal, que tengan significación en el marco de los procesos productivos. Desde el punto de vista de la red de sensores inalámbricos y de conectividad implica el estudio de identificación electrónica de ganado mediante tecnologías de comunicaciones de corto alcance como RFID o Bluetooth, y la integración con de sistemas de medición (manual o automático) de los parámetros de interés para el productor en los diversos momentos del proceso productivo. Inicialmente se pretende realizar las lecturas y almacenamiento de estos parámetros durante los procesos que involucren encierros o trabajo en mangas y bretes.

4.2 Condición corporal

Se investigará el uso de tecnologías de captura y procesamiento de imágenes para el análisis de la condición corporal, almacenando la información para cada animal de manera de permitir un seguimiento de la evolución de los mismos. El requisito de trabajar con imágenes de calidad implica un requerimiento de gran ancho de banda para la conectividad, y el uso de bases de datos multimediales para su almacenamiento, recuperación y procesamiento.

4.3 Otras aplicaciones futuras

Entre las diversas aplicaciones, identificadas durante el ciclo de charlas AgroTICs y las posteriores reuniones de trabajo, se encuentran las posibles líneas de trabajo futuras, como seguimiento de trayectorias individuales y de rodeo, detección de celo basada en los cambios de hábitos, el desarrollo de cercos virtuales reconfigurables en forma dinámica, el seguimiento del estado de parcelas y subparcelas de pastoreo, el monitoreo

individual de alimentación en cuadro y control de alimentación con ración individual entre otros temas posibles. En todos estos casos es un prerequisite contar con la conectividad de datos y las bases de datos multimediales del tipo espacio-temporales, por lo que son estos los dos aspectos en los que ya se comenzó a trabajar por parte de los dos proyectos de investigación de la Universidad Nacional de San Luis que participan en el proyecto interdisciplinario.

5 Requisitos de conectividad

Las aplicaciones identificadas permiten estimar los requisitos de conectividad en el proyecto, y analizarlas según movilidad, tasa de datos y alcance.

5.1 Identificación individual del ganado

Se requiere identificar individualmente al ganado en los diversos momentos del proceso productivo. Para esto existen muchas soluciones comerciales pasivas como las basadas en RFID, con sus ventajas de bajo costo y desempeño probado. Por otra parte, presentan la desventaja del corto alcance, requiriendo mayor proximidad del lector.

Se pretende explorar alternativas de conectividad activa, de bajo consumo y bajo costo como Bluetooth Low Energy (BLE) o ANT+, en forma complementaria al RFID de manera de incrementar el alcance de la detección e identificación del animal. A futuro se prevé el uso de collarines de manera de poder integrar más funcionalidades junto con la identificación del animal, como puede ser la medición de parámetros de salud (temperatura corporal, pulso, movimiento), detección de bocado y geolocalización entre otros parámetros de interés.

La tasa de datos requerida es mínima ya que la información involucrada consiste en la identidad única del animal, lugar y momento de la identificación. Esta información se puede combinar con otra información según el contexto de la medición, por ejemplo, si se está realizando un tacto para determinar preñez, se puede asociar a valores como “vientre vacío” o al tamaño del feto.

Respecto de la movilidad, la etiqueta electrónica debe ser pequeña y liviana, compatible con las dimensiones de caravanas y botones de identificación actualmente en uso. Por otra parte, para el lector, se consideran dos opciones. La primera, el lector-identificador de mano, que debe ser pequeño, liviano y con alta autonomía de manera de permitir períodos de trabajo prolongados. Una característica práctica que brindaría el uso de tecnologías estándares como BLE o ANT+ es la posibilidad de usar teléfonos celulares tipo smartphone para esta funcionalidad. En este caso las lecturas pueden ser almacenadas en el mismo teléfono hasta que se disponga de conectividad con la red (mediante WiFi o 3G), momento en el que los datos se volcaran a las correspondientes bases de datos.

La segunda opción se refiere a los lectores-identificadores fijos colocados en tranqueras, bretes, mangas, comederos, bebederos y otros puntos de interés para los procesos productivos. Estos deben ser robustos para soportar las condiciones ambientales y posibles golpes por parte de los animales. Al estar fijos sus dimensiones no son un factor limitante y se pueden utilizar fuentes y almacenamiento de energía de mayor capacidad. A su vez, estos equipos deben tener conectividad de baja tasa de datos

y de largo alcance dado que pueden estar posicionados en los lugares más remotos del sistema productivo. Para las localizaciones más extremas se pueden utilizar nodos de retransmisión de datos.

5.2 Determinación de condición animal

Esta aplicación, identificada como prioritaria por los socios participantes, implica múltiples desafíos. Uno de estos es la gran variabilidad de las formas corporales de los animales según su raza, género y edad. Existen varios enfoques para el estudio de la condición corporal mediante el procesamiento de imágenes, estereoscopia, sensado volumétrico, LIDAR y sensores 3D. Estos métodos difieren en costos y características y dificultades para ser usados en esta aplicación particular, pero todos coinciden en la gran cantidad de información producida, que se debe almacenar y procesar.

Para simplificar el estudio de la condición animal, el sistema de cámaras o sensores debe estar posicionado de manera de captar a un animal a la vez, en forma estática y con una posición relativa predeterminada de manera de simplificar el posterior procesamiento de los datos. De esta manera el sistema de sensado se deberá adaptar a mangas o bretes, haciendo por lo tanto la posición del sensor fija. De la misma manera que en el caso anterior, esto presenta ventajas desde el punto de vista de la alimentación eléctrica del nodo y sus dimensiones.

Desde el punto de vista de la red de comunicación, esto implica la necesidad de contar con conectividad de un gran ancho de banda. Cumplir con este requisito junto con los de bajos costos implica el uso de alguna tecnología cableada o inalámbrica estándar como Ethernet o WiFi. Las dificultades de instalación y mantenimiento de las redes cableadas hacen de estas poco viables para el problema en cuestión, dejando solo la opción de WiFi. Esto representa una gran limitante desde el punto de vista del alcance del enlace, haciendo necesario el estudio de la localización relativa del sistema de medición de condición animal y el punto de acceso WiFi.

5.3 Tecnologías disponibles

De todas las tecnologías inalámbricas de comunicación de datos disponibles, son de mayor interés el uso de aquellas que utilizan bandas de frecuencias no licenciadas, es decir que trabajan en las bandas de usos Industrial Científico y Médico o ISM por sus siglas en inglés. Estas bandas de frecuencias están definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en el artículo 5 de las Regulaciones de Radio (Volumen 1). Entre las bandas disponibles en nuestro País, integrante de la región 2 del ITU, las bandas más atractivas en el contexto del presente proyecto son las de 902-928MHz (frecuencia central 915MHz) y 2.400-2.500MHz (frecuencia central 2.450 MHz).

La asociación técnico-profesional Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas (IEEE), es uno de los principales actores en el desarrollo tecnológico y estandarización de las redes de datos actualmente en uso. Dentro de su comité de estándares para redes de datos de área local y metropolitana 802 de la Computer Society, se creó el grupo de trabajo IEEE 802.15.4 para tratar las necesidades de sistemas con poca tasa de transmisión de datos, vidas útiles muy altas con alimentación eléctrica limitada, cuyas características son muy apropiadas para este tipo de aplicaciones.

Este grupo ha desarrollado y publicado desde el año 2003 el estándar IEEE 802.15.4,

actualizado en el año 2006 al estándar IEEE 802.15.4b, en 2011 al IEEE 802.15.4e y a su versión 802.15.4g en 2012. Estas normas definen el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN). Originalmente planeadas para el uso en redes de muy corto alcance (10 metros) con baja tasa de datos y para aplicaciones basadas en baterías, la evolución tecnológica ha hecho posible su uso en aplicaciones con mayores distancias (del orden de algunos kilómetros). Su característica de bajo consumo y alta autonomía energética le brinda un gran atractivo para aplicaciones en las que es poco práctico o incluso imposible el reemplazo periódico de baterías.

Otras tecnologías aplicables a las redes de sensores inalámbricos están definidas por la familia de normas 802.11, o redes inalámbricas de área local comúnmente conocidas como WiFi. Estas poseen mejores características en cuanto a alcance y tasas de datos, a costa de un mayor consumo energético y de mayores requisitos de poder de cómputo para poder implementar el protocolo.

Bluetooth Low Energy (BLE), también conocida en el mercado como Bluetooth Smart, es otra tecnología aplicable a las WSN. Esta tecnología es parte de la especificación Bluetooth 4.0 publicada por la asociación Bluetooth Special Interest Group, y posee características técnicas muy apropiadas al uso en WSN, en particular su muy bajo consumo eléctrico, que redundando en una mayor vida útil de los nodos. A principios del presente año, el Bluetooth SIG ha presentado la versión 5 del protocolo, duplicando la tasa de datos y el alcance respecto de la versión anterior e incorporando la comunicación en topología de malla entre nodos.

Las tecnologías antes nombradas se encargan de las funcionalidades de las capas inferiores según el modelo de comunicaciones OSI. Para completar la funcionalidad de las capas superiores, se están desarrollando, a lo largo del mundo, varios protocolos de capas intermedias y superiores del modelo OSI. Algunos de estos protocolos son de naturaleza propietaria y desarrollados por empresas proveedoras de interfaces de radio y microcontroladores para promover la venta de sus equipos como es el caso de MiWi, de Microchip Technology Inc. Diversos protocolos son desarrollados por alianzas de instituciones y fabricantes, con una mentalidad de cooperación y buscando la interoperabilidad entre equipos de distintos proveedores, como ZigBee Alliance y Hart Foundation, entre otros.

La iniciativa 6LoWPAN, de la Internet Engineering Task Force dependiente de la Internet Society, es un proyecto que busca proveer las funcionalidades de las capas intermedias y superiores de las redes de sensores inalámbricos, en forma integrada con el Protocolo de Internet versión 6 (IPv6) en la forma de un conjunto de protocolos abiertos. Este tiene la ventaja de incluir el direccionamiento de IPv6 y, por lo tanto, tener espacio para el crecimiento esperado en las redes al incluir un gran número de sensores y dispositivos que se espera integrar a Internet en corto plazo con la llamada IoT, Internet of Things, o Internet de las cosas.

El protocolo DASH7 proviene del estándar ISO / IEC 18000-7 que describe una interfaz de banda ISM de 433 MHz para RFID activo. Esta norma se utilizó principalmente para la logística militar. La DASH7 Alliance volvió a diseñar la tecnología original 18000-7 en 2011 y la hizo evolucionar hacia una tecnología de red

de sensores inalámbricos para aplicaciones comerciales. El Protocolo de Alianza DASH7 cubre todas las bandas ISM de Sub-GHz que lo hacen disponible a nivel mundial. El nombre del nuevo protocolo se derivó de la sección siete denotada como - 7 del documento estándar original. La versión actual del protocolo DASH7 Alliance no es más compatible con el estándar ISO / IEC 18000-7.

Más recientemente se han incorporado nuevos estándares de comunicación inalámbrica orientados específicamente a las necesidades de baja tasa de datos, bajo consumo y largo alcance, como las tecnologías LoRaWAN, SigFox, Telensa y Weightless (en sus 3 variantes, W, N y P). Estos protocolos son de naturaleza propietaria pero dada su buena performance han sido ampliamente adoptados, en particular para aplicaciones de Ciudades Inteligentes o Smart Cities.

Tabla 1. Tecnologías inalámbricas de comunicación de datos.

		Características principales						
		Bandas de frecuencia (MHz)	Tasa de datos máxima (kbps)	Alcance (km)	Orden de capacidad aproximada	Costo (USD)(1)	Licencia	Arquitectura de red básica
	LoRaWAN	915	5,00E+01	15	1,00E+06	330	LoRa: Propietario LoRaWAN: no licenciado	Estrella a estrella
	SigFox	902	6,00E-01	50	1,00E+06	160		Estrella
	Telensa (*)(\$)	915	5,00E-01	8	1,00E+05			
Weightless	W (*)(\$)	400	1,00E+04	10				Estrella
	N (*)(\$)	915	1,00E-01	9				Estrella
	P	915	1,00E+02	8	1,00E+04	1300		Estrella
WiFi	802.11n	2400	4,50E+05	0,07	1,00E+01	60		Estrella
	802.11ac	5000	1,30E+06	0,07	1,00E+02	650		
	802.11ah (\$)	915	3,46E+05	1	1,00E+03			Árbol, Estrella
	Dash7 (*)	915	1,66E+05	5		350		Punto a punto, Árbol, Estrella
	ZigBee	2400	2,50E+02	0,1	1,00E+04	360		Estrella, Malla
Bluetooth	Bluetooth 4.1	2400	2,50E+04	0,06	8,00E+01	100		Estrella a estrella
	Bluetooth 5	2400	5,00E+04	0,24	8,00E+01	150		Estrella a estrella
	Bluetooth Low Energy (BLE)	2400	Depende de la versión	Depende de la versión	Depende de la versión	Depende de la versión		Estrella a estrella
(1) Costo estimado en relación al costo financiero necesario para instalar una red de prueba con un nodo y dos terminales (*) No se posee información completa (\$) No hay equipos disponibles								

De las mencionadas tecnologías, se deben considerar ciertos aspectos que hacen a su aplicabilidad para el contexto del Proyecto Campo Conectado. Entre ellas se incluyen las relacionadas con la performance de red como su ancho de banda y alcance, las relacionadas con la escalabilidad del sistema como capacidad de nodos y costo de los mismos, y las relacionadas con la logística como disponibilidad de módulos, herramientas de desarrollo y costos de licencias. Sus características principales se resumen en la Tabla 1, y se comparan en las figuras 1 a 3.

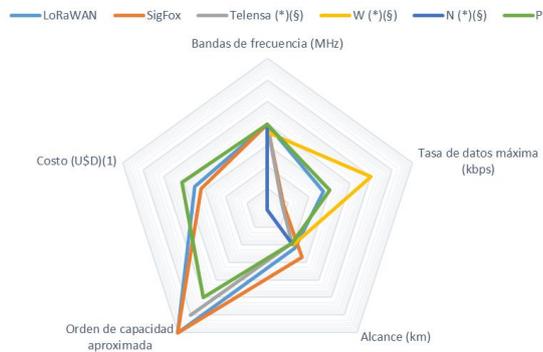


Fig. 1. Comparación de características principales de tecnologías inalámbricas de bajo consumo, baja tasa de datos y largo alcance

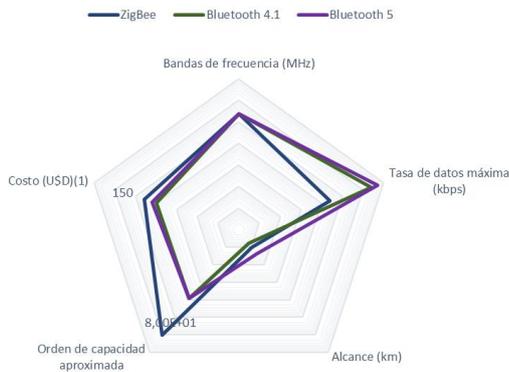


Fig. 2. Comparación de características principales de tecnologías inalámbricas de bajo consumo, tasa de datos media a alta y alcance bajo a medio

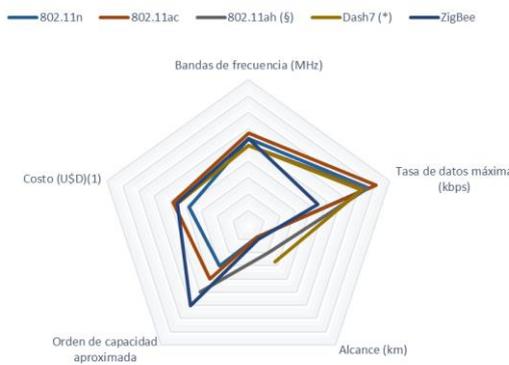


Fig. 3. Comparación de características principales de tecnologías inalámbricas de bajo consumo, tasa de datos medias y alcance medio

6 Arquitectura propuesta

La arquitectura de red propuesta es del tipo jerárquica y heterogénea. En el diagrama de la figura 4 se esquematiza la arquitectura general de la red con las posibles tecnologías a utilizar. Este diseño es preliminar y puede cambiar como resultado de las pruebas de campo y laboratorio.

La conectividad en el proyecto Campo Conectado se puede dividir en dos áreas, la conectividad exterior y la interior.

La primera se refiere a la vinculación del sistema productivo con Internet, a través de la cual se accede a las bases de datos y servicios de red que proveen el almacenamiento, recuperación, procesamiento, análisis y visualización de la información. Esta conectividad se realizará por dos medios alternativos para brindar redundancia al sistema. La conexión principal será mediante enlace WiFi a la Autopista de la Información, servicio provisto por el Gobierno de la Provincia de San Luis. La conexión secundaria utilizará tecnologías de telefonía celular mediante proveedores comerciales y se utilizará solo en caso de fallas de la conexión principal.

La conectividad interior se realizará mediante una red jerárquica de sensores inalámbricos de tecnologías heterogéneas. El vínculo entre ambas redes, interna y externa es un Gateway que además tendrá capacidad de almacenamiento local de información en caso de falla de la conectividad exterior, y para descargar la red interna en caso de requisitos externos de información (Bróker). Este deberá gestionar la información mediante algún protocolo M2M estándar y abierto como por ejemplo Message Queue Telemetry Transport (MQTT). La conectividad interior luego se realizará utilizando los protocolos y tecnologías más apropiadas para cada aplicación, como por ejemplo WiFi para el transporte de imágenes para el estudio de Condición animal, o tecnologías Sub GHz para enlaces de bajas tasas de datos y largo alcance. La topología de la red propuesta es la de árbol o de estrella extendida, en la que se pueden agregar ramas usando diversas tecnologías de enlaces de datos.

El usuario puede acceder a la información a través de internet, vía WiFi o telefonía celular, o directamente de los nodos que estén equipados con alguna tecnología de corto alcance como BLE. De esta manera se pueden utilizar dispositivos estándares como teléfonos celulares, tablets o notebooks para configurar o parametrizar los nodos de sensado, o acceder en forma local a la información por estos recabada. Esto disminuye los costos a la vez que simplifica el manejo del sistema por parte de los usuarios finales.

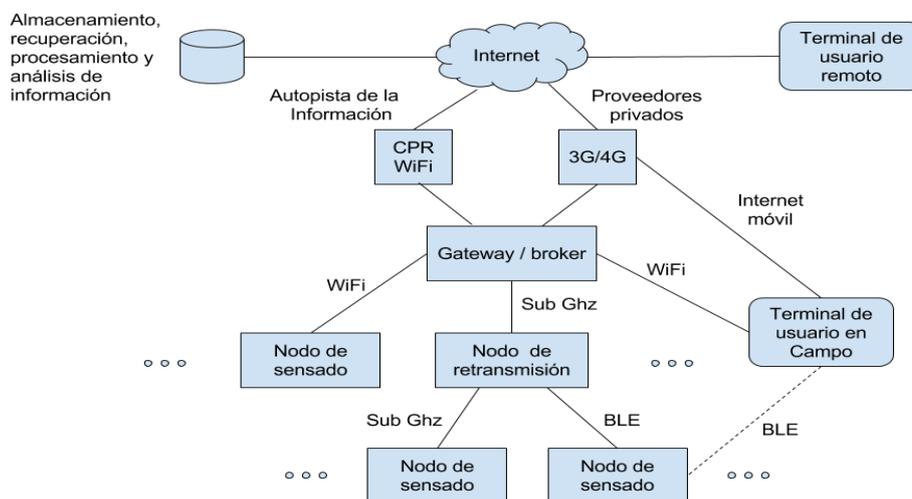


Fig. 4. Diagrama de la Arquitectura de Red propuesta

7 Conclusiones

La red propuesta presenta la flexibilidad de integrar varias tecnologías disponibles actualmente y en el futuro, asociando las mejores características de las mismas a las aplicaciones concretas a desarrollar en el marco del proyecto campo conectado.

El desarrollo de esta red brindará a los docentes-investigadores y alumnos participantes las capacidades, habilidades y experiencia requeridas para implementar redes de datos de bajo costo para aplicaciones en sistemas de producción agropecuaria. Más importante, se dispondrá de una plataforma experimental de desarrollo interdisciplinario de AgroTICs.

8 Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional de San Luis, al Centro Universitario Argentino Alemán (CUAA-DAHZ) y a la Secretaría de Políticas Universitarias por la subvención de los Proyectos de Investigación Tecnologías Avanzadas de Bases de Datos - línea Geometría Computacional y Bases de Datos y Diseño jerárquico de arquitectura de red de sensores inalámbricos para aplicaciones en agricultura y monitoreo ambiental. También a los colegas por el trabajo interdisciplinario en el marco del Proyecto Campo Conectado; especialmente a los equipos de Informática y de INTA San Luis por sus valiosas contribuciones

9 Referencias

1. Libro blanco de la prospectiva tic : proyecto 2020. - 1a ed. - Buenos Aires : Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2009.
2. Keysight Technologies Application Note “IoT – With Great Power Comes Great Challenges”.
3. Mistic, Jelena, “Wireless personal area networks : performance, interconnections and security with IEEE 802.15.4” John Wiley & Sons Ltd, 2008
4. Carlos Alberto Frasinelli y Jorge Hugo Veneciano, “Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis”, 1a ed. – San Luis, Ediciones INTA, 2014
5. Hassan Aboubakr Omar, Khadige Abboud, Nan Cheng, Kamal Rahimi Malekshan, Amila Tharaperiya Gamage and Weihua Zhuang “A Survey on High Efficiency Wireless Local Area Networks: Next Generation WiFi”, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 18, NO. 4, FOURTH QUARTER 2016
6. Dhananjay Singh, Gaurav Tripathi , Antonio J. Jara, “A survey of Internet-of-Things: Future Vision, Architecture, Challenges and Services “, 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)}
7. Tor-Inge Kvakrsrud, “Design Note DN018, Range Measurements in an Open Field Environment”, Texas Instruments, 2008
8. Abdelmalik Bachir, Mischa Dohler, Thomas Watteyne, and Kin K. Leung, “MAC Essentials for Wireless Sensor Networks”, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 12, NO. 2, SECOND QUARTER 2010
9. Yu Song Meng, Yee Hui Lee, , and Boon Chong Ng, “The Effects of Tropical Weather on Radio-Wave Propagation Over Foliage Channel”, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 58, NO. 8, OCTOBER 2009 4023
10. Zach Shelby and Carsten Bormann, “6LoWPAN: the wireless embedded internet”, John Wiley & Sons Ltd, 2009
12. “Nodo inalámbrico para la medición de parámetros ambientales”, Trabajo final de maestría binacional “Diseño de Sistemas Electrónicos Aplicados a la Agronomía”, Ing. Mauro Hernán Schwab, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2016
13. “Medición y evaluación de variables críticas del hábitat en distintas coberturas vegetales” Trabajo final de maestría binacional “Diseño de Sistemas Electrónicos Aplicados a la Agronomía”, BSc Eng. Joel Görgens, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2016
14. “Dispositivo de monitoreo remoto de sistemas de riego por aspersión”, Trabajo final de maestría binacional “Diseño de Sistemas Electrónicos Aplicados a la Agronomía”, BSc Eng. Axel Krämer, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2016
15. “Sistemas de Parcelas Virtuales con Alerta de Proximidad, Aplicado a la Ganadería”, Trabajo Final de Ingeniería Electrónica O.S.D., Martín Nicolás Gonella, Universidad Nacional de San Luis, 2016
16. “Desarrollo de Sensor Electrónico de Humedad en Suelos”, Trabajo Final de Ingeniería Electrónica O.S.D., Marwan Alejandro Geraiges Magrini, Universidad Nacional de San Luis, 2016