

CONTRIBUCIONES AL ESTABLECIMIENTO DE UNA RED GLOBAL DE SENSORES INALAMBRICOS INTERCONECTADOS

Tesista: Eduardo Omar Sosa¹

Director: Stefan Fischer² - Codirector: Francisco Javier Díaz³

¹eososa@unam.edu.ar, ²fischer@itm.uni-luebeck.de, ³jdiaz@info.unlp.edu.ar

Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata – Junio 17 de 2011

El continuo avance de la ciencia y la tecnología a lo largo del tiempo ha conllevado a un sinnúmero de innovaciones. Basta observar los avances que se han experimentado en la astronomía, basados en la mejora y evolución de las tecnologías de desarrollo de telescopios; como también los progresos a los largo de las últimas décadas en las ciencias médicas con todo lo referente al mundo microscópico. Cada una de estas innovaciones ha tenido que ver, indudablemente, con el desarrollo explosivo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones. Hoy es posible realizar medidas y cálculos a partir de las imágenes obtenidas por unidades satelitales, utilizando avanzados algoritmos computacionales para el cálculo.

Mark Weiser, conocido como el padre de la computación ubicua, a principios de los años 1990 ha apostado a la mencionada teoría, la que debería evolucionar hasta interactuar con los diferentes usuarios de las tecnologías. Estos principios enunciados originalmente por Weiser han sido validados por diferentes investigadores y estudiosos, convirtiéndose en un escenario cierto en el futuro cercano.

La computación ubicua tiene que ver, y está íntimamente relacionada, con la evolución de los dispositivos electrónicos. Esta revolución se materializa a través de la miniaturización de los dispositivos y la mayor sociabilización de los contenidos en red. Así hoy es posible realizar simulaciones numéricas para estudiar y analizar fenómenos utilizando métodos computacionales, los que se volverían prohibitivos si se pretendiera realizarlos por métodos empíricos.

La computación ubicua encuadra a un gran número de tecnologías y aplicaciones; desde dispositivos móviles utilizados diariamente, pasando por artefactos “inteligentes” para propósitos especiales (hornos, heladeras, etc.) y hasta a los juegos domiciliarios en red.

La existencia de las numerosas y variadas simulaciones en los diversos campos de las ciencias se ha producido como consecuencia del crecimiento exponencial de las propiedades y capacidades de los semiconductores que fueron desarrollados por la industria en los últimos años. De acuerdo a la ley de Moore, el número de transistores, y por ende la capacidad de almacenamiento y cálculo de un circuito; se duplica cada uno ó dos años. Por ello, en la actualidad, es un desafío establecer y orientar los estudios hacia las regiones del conocimiento donde las TICs, convergen apuntalando a las ciencias.

Cuando el objetivo de una acción es obtener información válida de algún entorno con el cual se interactúa, la más de las veces es prácticamente imposible establecer vínculos fijos permanentes (cableados normales). Para estos escenarios se ha establecido una nueva tecnología, basada en un

nuevo paradigma para los sistemas de cómputo, que han venido a denominarse redes de sensores inalámbricos (WSN).

Merece ser destacado aquí, por similitud operativa, la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID), que consiste en un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos, utilizados por transponders RFID.

Con éste sistema, se transmite radialmente la identidad determinada de un objeto por medio de un código y/o número de serie. Los elementos necesarios para ello son las etiquetas y los lectores. Los últimos, son los que detectan e identifican a determinado objeto físico, y que el mismo pueda ser controlado e inventariado en un sistema de cómputos al efecto.

Las etiquetas RFID se diferencian entre las pasivas y las activas. Las primeras carecen de una fuente de energía, pero son capaces de ser energizadas desde el dispositivo que realiza la consulta. Los RFID activos son dispositivos provistos de alguna fuente de energía, guardando una relación con pequeños nodos integrados de WSN. Recientemente han sido desarrollado dispositivos RFID clase 4 y 5, los que son capaces de establecer entornos de seguimiento, ubicación, red y seguridad.

El deseo de mejorar el rendimiento de los servicios de las cadenas de provisión globalizadas ha impulsado el desarrollo de los sistemas RFID, pero su implementación ha sido problemática, en primer lugar por los costos de manufactura de las etiquetas y, fundamentalmente, por invasión de la privacidad de los usuarios adquirentes de productos etiquetados con RFID.

De estudios realizados en diferentes trabajos y publicaciones, se infiere el éxito de la computación ubicua; basado fundamentalmente en la adopción de las implementaciones de WSN y RFID. La ilustración 1 muestra la superposición existente entre las tecnologías RFID y las WSN.

Una red de sensores inalámbricos consiste en una serie de dispositivos distribuidos desordenadamente en un área geográfica dada. Cada nodo posee capacidad de comunicación inalámbrica, de procesamiento de la información obtenida y fundamentalmente, cada uno de los nodos es capaz de promover el establecimiento de una red de datos eficiente.

Las WSN han trascendido el ámbito académico-científico, habiéndose vuelto una realidad en cuanto a la utilidad práctica de la tecnología. El alcance y diversidad de las aplicaciones de las redes de sensores, los requerimientos, diseños y plataformas son virtualmente ilimitados.

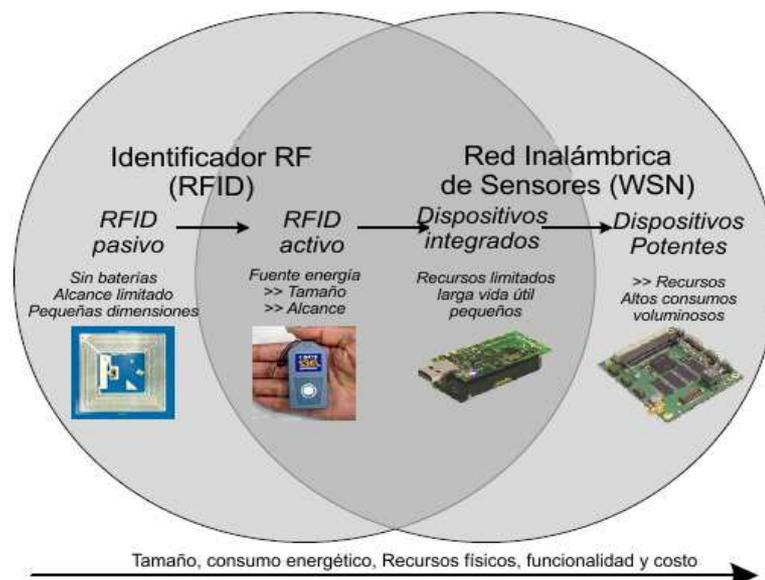


Ilustración 1. Intersección de las tecnologías de RFID y WSN

La génesis de las WSN se ha basado en el desarrollo de una serie de nodos por parte de la UCB en California. Los primeros equipos se denominaron nodos Mica. Por razones operativas, y debido a partes del hardware poco confiables en estos equipos, los mismos evolucionaron a los nodos Mica2, Mica2Dot y MicaZ. El Mica2, proporciona una mejor interfaz de radio y diseño. El nodo Mica2Dot es bastante más pequeño y económico que Mica2. El nodo MicaZ se caracteriza porque reemplaza el sistema de radio propietario por otro compatible del tipo IEEE 802.15.4. Como nodo sucesor de Mica2 aparece el Telos en 2004. Este nodo se orienta fundamentalmente a atacar las debilidades de la tecnología: el consumo de energía, cortos tiempos de wake-up y la utilización de radio IEEE 802.15.4.

Montados en la ola paradigmática, se desarrollaron en Europa varias plataformas. Se destacan tecnologías como el BTnode, que proporciona conexión a notebooks, PDAs y teléfonos celulares por Bluetooth. La Freie Universität Berlín, ha desarrollado y establecido el ESB (Embedded Sensor Board), que luego evolucionara a la marca comercial Scatternode. Demostrando el interés y desarrollo del campo, la plataforma iSense se desarrolla en Alemania, en un todo de acuerdo a los estándares comunes imperantes.

Porque Una WSN?

Los objetivos básicos del establecimiento de una red de sensores son función directa de la aplicación necesaria de la red a establecer. Normalmente la tareas comunes a la mayoría de las redes de éste tipo son: *medición, monitoreo y control*. Las tareas mencionadas son orientadas a realizar alguna de las siguientes tareas:

1. **Determinación del valor de algún parámetro en un lugar geográfico determinado.** Se puede pretender saber la temperatura, presión atmosférica, la intensidad de iluminación, y la humedad relativa en un número definido de ubicaciones.
2. **Detección la ocurrencia de eventos de interés.** Discriminar y clasificar a los parámetros para una evaluación/estimación de los eventos indicativos de aquello que se considere de interés.
3. **Clasificación un objeto detectado:** Clasificar el objeto detectado en el paso anterior.
4. **Monitoreo de un objeto:** Seguimiento de un elemento determinado que se mueve por la zona geográfica cubierta mediante la red de sensores

De las cuatro tareas mencionadas, la característica común en todas ellas es que la medición debe ser transmitida a los usuarios finales de una manera segura, salvaguardando los datos obtenidos. En ciertas ocasiones es imperativa la transmisión inmediata de los datos obtenidos, para así poder implementar medidas correctivas y/o de seguridad. Un incendio, robo ó ataque a la propiedad son eventos de ésta naturaleza.

Las redes ad hoc son sistemas sumamente complejos. En ellos conviven y participan muchos conceptos, protocolos, tecnologías, algoritmos, y elementos que deben ineludiblemente trabajar conjuntamente. La aplicación de las redes móviles ad hoc (MANET) y las WSN es sumamente diversa, yendo desde pequeñas redes estáticas limitadas en su existencia por la necesidad de disponibilidad de energía, a redes a gran escala con gran dinámica y mucha movilidad. Las WSN son unas de las herramientas preferidas en SCADA con el objeto de monitorear o controlar procesos químicos u operaciones de fenómenos de transporte. Son frecuentemente utilizadas en el ámbito de la producción y suministro de agua potable, como también en entornos de generación energética.

Existen muchas razones que deben ser consideradas en el momento de formular un proyecto de redes de datos, pero dos de ellas posicionan a las WSNs mejor que a otras tecnologías: la económica y la de aplicación.

Según la literatura, el beneficio de las WSN frente a otras tecnologías convencionales, deviene del costo necesario para la realización del cableado entre sensores. El costo de instalación de un simple nodo alcanza los US\$ 200 en un edificio de oficinas, o puede alcanzar valores como US\$ 150 por cada metro de instalación en entornos peligrosos, como son consideradas las industrias químicas o plantas generadoras de energía. La adopción de sistemas inalámbricos de sensores puede proveer una reducción de costos considerables, hasta un 80% del costo total, en materiales y mano de obra.

Justificación de la investigación

El objetivo práctico de este trabajo es el desarrollo, prueba, configuración y puesta en marcha de una infraestructura de red de sensores inalámbricos. Esta infraestructura a nivel piloto, debería ser utilizada en primer lugar para fines de investigación, apuntando a una visión interdisciplinaria que abarca los aspectos del hardware, software, algoritmos y datos.

Se pretende demostrar que la heterogeneidad de dispositivos de pequeñas dimensiones y instalaciones piloto (testbeds) existentes, pueden unirse para formar estructuras a gran escala bien organizadas; diferentes de las grandes redes actuales, dado que permitirán una investigación cualitativa y cuantitativa a una escala mucho mayor, afrontando los cambios dinámicos de escenarios, infraestructura y composición de nodos.

Las redes de sensores inalámbricos son una de las tecnologías fundamentales en la Internet del futuro, y representa la expansión de Internet al mundo real. Con esto se permite acceder a indicadores desde cualquier punto del orbe en tiempo real.

Un aspecto sobresaliente de la “Internet del Futuro” es la utilización de tecnología sumamente compleja, entre las que se puede establecer la utilización de una red de sensores de una manera totalmente transparente al usuario. Con ellos tiende a favorecer la integración de las redes fijas a las nuevas tecnologías de “conectividad móvil”.

El proyecto ha sido enmarcado en el nacimiento en Europa de un consorcio de instituciones bajo el nombre de WISEBED. Este consorcio está formado por la Universidad de Lübeck, Universidad de Berlín, Universidad de Braunschweig de Alemania, el Research Academic Computer Technology Institute de Grecia, la Universitat Politècnica de Catalunya de España, Universidad de Berna y la Universidad de Ginebra de Suiza, Universidad de Delft de Holanda, y la Universidad de Lancaster en el Reino Unido.

WISEBED forma parte de la “Estrategia Europea para Internet del Futuro”, la que se está discutiendo a nivel nacional en Alemania y respaldada en su accionar, por la Sociedad Alemana de Informática.

El proyecto aquí desarrollado ha sido imaginado como un apéndice de WISEBED, dado que el fin último es instalar, configurar y activar una red de sensores inalámbricos en la Republica Argentina, la que una vez operativa se integraría al consorcio mencionado como la primera no europea.

Actualmente no existe en nuestro país una red de sensores realmente establecida que pueda servir como estación piloto para alguna inquietud de investigación y/o desarrollo con socios nacionales y/o extranjeros. Como consecuencia de este trabajo, se establecerá una red básica de sensores, la cual servirá para el desarrollo e investigación de distintos grupos dedicados al tema en nuestro país.

Se ha considerado a este trabajo como un aporte al establecimiento de una red global de sensores donde los humanos (agentes inteligentes), y computadoras potentes interactúan con redes piloto de sensores inalámbricos, distinguiendo en la red global 3 subdominios:

- Una red superior existente, donde los distintos nodos ejecutan las aplicaciones en potentes computadoras que pueden interconectarse vía Internet u otras redes globales.

- Los dispositivos sensores que forman una red piloto y se comunican entre sí por medio inalámbrico.
- Un portal de servidores, formado por nodos que controlan las redes piloto, y permiten la interacción entre los nodos de la red superior y los dispositivos de la WSN.

Los temas abordados en esta tesis son:

- **Modelado y simulación:** La simulación es utilizada para evaluar sistemas desarrollados y a implementar en redes reales. La utilidad de los datos obtenidos depende puramente del realismo y la precisión de los modelos a implementar. Fundamentalmente se avanza con simulaciones que simplifican la instalación de las WSNs.
- **Entorno de desarrollo de aplicaciones:** Necesario para la corrida de las simulaciones como también desarrollo de las aplicaciones a ser instaladas en los nodos físicos existentes.
- **Alternativa de soporte de las WSN:** la preexistencia de situaciones donde la prestación de servicios de transmisión de datos es sumamente ineficiente y provisto por una empresa de manera monopólica. Ciertas veces el servicio es inexistente en la locación del proyecto. Por ello se avanzó en la búsqueda de un soporte a la red de WSN no basada en la Red Digital Soporte de la prestadora en la región de desarrollo del trabajo.

Contribuciones del presente trabajo

Las redes de sensores inalámbricos son hoy una realidad que permite una gran variedad de aplicaciones en el área de la detección/medición de eventos en vastas superficies de terreno de manera inalámbrica, remota y distribuida. Este tipo de nodos integrantes de la red son de un tipo muy especial, dado que poseen una capacidad restringida en cuanto a vida útil, cálculo y memoria. Estas restricciones generan campos definidos hacia donde la investigación y desarrollo debe avanzar inexorablemente, desarrollando modelos y aplicaciones para estos pequeños y avanzados equipos de comunicación y cálculo.

Se pueden enumerar las siguientes contribuciones:

- **Establecimiento de una red piloto:** Se establece una red piloto con disponibilidad de nodos, posibilidad de soporte a la investigación y desarrollo de actividades orientadas a las WSN. Esta red servirá de trampolín para futuras investigaciones y desarrollos sobre el tema, dado que no existe alguna similar en nuestro país.
- **Transferencia tecnológica y know-how:** El proceso de apropiación de la tecnología, por medio de la asociación con instituciones europeas ha permitido disminuir el tiempo de transferencia, con lo que se abre una puerta a las investigaciones sobre el tema en la red piloto implementada.
- **Adopción de Shawn:** Habiendo evaluado varios entornos de simulación, se ha adoptado uno que podrá ser profundizado en trabajos posteriores. En el marco del proyecto existe una tesis de graduación de la Licenciatura en Sistemas de Información en la Universidad Misiones sobre el tema “Sistemas Modernos de Comunicación”, utilizando como base de desarrollo a Shawn.
- **Formación de un grupo de trabajo sobre WSN:** por la existencia del presente trabajo se ha aglutinado un grupo de profesionales y estudiantes que han adherido a la línea de investigación, desarrollando diferentes tareas al respecto.
- **Soporte de las WSN por una red social:** a la pobre oferta de la proveedora de conectividad en la zona del proyecto y a los efectos de resguardar el éxito de los

emprendimientos, se ha desarrollado una estructura donde Twitter es utilizada como soporte de la WSN implementada.

Estructura del trabajo

En el capítulo 2 se realiza un estudio de la evolución de las redes inalámbricas a través del tiempo. Para ello se contempló lo atinente a los tipos de servicios inalámbricos que se prestan en la actualidad, analizando las redes existentes y clasificándolas por la estructura subyacente de la red y el área de cobertura de la misma. Se realiza un análisis de la evolución de las redes móviles celulares hasta la tecnología utilizada actualmente, arribando luego a la suite 802 de la IEEE. Se estudia la evolución de las redes ad hoc, en especial se realiza la división existente entre redes ad hoc móviles y las redes de sensores inalámbricos, para finalmente llegar a redes de malla.

En el capítulo 3 se comienza a tratar lo concerniente a los sensores inalámbricos y la escala. En todo momento se considera y se refuerza el concepto de la existencia y aplicación de un nuevo paradigma el campo de la computación. Se presentan los diferentes escenarios de aplicación de la tecnología tratada en la tesis, introduciendo los factores de diseño de las redes de sensores y las métricas de evaluación, tanto de los sensores en sí mismo como de las redes en particular. Se presentan y analizan las distintas alternativas referentes a las prestaciones de los diferentes componentes de hardware de los nodos.

En el capítulo 4 se presenta la arquitectura de red de las WSN, clasificando las funciones posibles de los diferentes nodos en la red. Se considera la movilidad de los nodos, tanto de los dispositivos comunes como los que cumplen tareas de límite de red. Se consideran los objetivos de optimización, como los principios de diseño. Al final del capítulo se analiza cierto comportamiento de las redes de sensores que contradicen la norma en cuanto a las pilas de protocolos e interfaces de servicio.

En el capítulo 5 se comenta sobre los diferentes simuladores existentes y una clasificación de acuerdo a sus rendimientos, referente al entorno de utilización y número de nodos de las simulaciones. Una vez que se seleccionó el simulador a utilizarse en el trabajo se ahondó en las características del mismo.

En el capítulo 6 se enumera lo atinente a equipamiento y programas utilizados, indicando las diferentes plataformas y productos que se acoplaron para fundamentar el desarrollo de las aplicaciones instaladas en los nodos, como también los resultados obtenidos tanto de las simulaciones efectuadas, como de las tareas de proveer a la red piloto de sensores de un soporte de publicación de sus tareas, que sea una alternativa válida a los proveedores monopólicos de conectividad.

Finalmente en el capítulo 7 se discuten los resultados y proponen tareas a futuro sobre la tecnología analizada en la tesis.

Resultados

- Se ha realizado un estudio del estado del arte y evolución de las WSN hasta la fecha.
- La Red de sensores inalámbricos instalada en forma piloto se comportó en forma robusta.
- Se alcanzaron las metas propuestas como orientaciones al trabajo a realizar en el proyecto.
- Ante inconvenientes de índole práctico que se presentaron a lo largo de las tareas planificadas, se encontraron las soluciones ingenieriles correspondientes.
- La administración remota de la red instalada, se devela como un punto crítico en cuanto a la utilización y al futuro de la tecnología.

- Se han desarrollado e implementado aplicaciones distribuidas y totalmente integradas.
- Se ha confirmado una vez más la imprevisibilidad del medio ambiente en las experiencias llevadas a cabo.
- Se han integrado el simulador seleccionado, el firmware del hardware implementado y un entorno de aplicación y desarrollo; en un único entorno amigable.
- Se ha experimentado con protocolos de alto nivel de transmisión inalámbrica basados en 802.15.4
- La red piloto que se pretendía como uno de los elementos del proyecto, se encuentra actualmente operativa.
- Se compararon resultados de simulaciones con experiencias realizadas en el mundo real.
- Se han investigado soportes alternativos de conectividad a redes externas, para así permitir el acceso de los usuarios a los resultados de la experiencia. En este trabajo se integró a la red social Twitter como soporte de la WSN.
- Se han identificado y clasificado cada uno de los roles cumplidos por los nodos en la WSN instalada.
- Hemos implementado entornos de simulación con resultados replicables en campo (cálculo y visualización).
- Se ha establecido la muy buena integración y escalabilidad de las redes experimentales establecidas durante el proyecto.

Publicaciones y participación en Eventos

Como resultado del presente trabajo se han presentado avances respectivos en conferencias, reuniones y otros eventos en el país y el exterior:

- Eduardo Sosa, Stefan Fischer, Javier Díaz: Towards a Global Sensor Network Interconnection: A German-Argentinean Field Trial, 2nd EELA-2 Conference, Choroni, Venezuela, Nov. 25-27, 2009. ISBN: 978-84-7834-627-1.
- Eduardo O. Sosa; Stefan Fischer , Francisco J. Díaz, et ál., Twitter, Soporte de una Red de Sensores Inalámbricos, **XII Reunión de Otoño de Potencia, Electrónica y Computación**, ROPEC'2010 INTERNACIONAL, Manzanillo, Colima, México. (enviada: http://www.ieee-sco.org/ropec/resultados_ropec_2010.html)
- Hacia una Red Global de Sensores Interconectados. Un ensayo experimental Argentino-Alemán. Eduardo O. Sosa, Francisco J. Díaz, Luis A. Marrone. II Jornadas *RedVITEC*. La Vinculación Tecnológica en el contexto de las Políticas de Estado y la Sociedad. Entre Ríos, *Paraná*, 19 y 20 de Noviembre de 2008. ISBN: 978-950-698-234-8
- Universidad Nacional de Misiones; Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Posgrado. Proyecto de Investigación: “Hacia la programación de Sensores Inalámbricos en la forma web 2.0”.
- Proyecto AL807 “*Hacia una Red Global de Sensores Interconectados. Un ensayo experimental Argentino-Alemán*”, presentado en el marco del Programa de Cooperación Científico-Tecnológico entre el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina (MINCYT) y el Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) de Alemania. Integrante. Directores: Francisco Javier Díaz y Stefan Fischer.

Conclusiones

Las WSN han sido materia de intensivos estudios en los últimos años, donde la mayoría de los resultados obtenidos y publicados son de naturaleza teórica, fuera del contexto práctico que encierra el presente trabajo. Estos resultados solapan varios de los inconvenientes existentes en las implementaciones prácticas de la vida real.

En el presente trabajo de aplicación de WSN para vigilancia ambiental, son imprescindibles mediciones de calidad y enlaces confiables. Uno de los elementos no considerados en los estudios anteriores es considerar a la naturaleza jugando un papel preponderante, debido a la imprevisibilidad de su comportamiento.

Se ha podido evaluar el comportamiento de una WSN en condiciones ambientales reales, habiendo demostrado ser lo suficientemente robusta y adecuada para poder alcanzar los objetivos planteados. A lo largo de todo el proyecto se han encontrado diversas situaciones, inconvenientes y desafíos a los que se han establecido soluciones prácticas. La experiencia de este trabajo nos ha indicado que la administración remota de las WSN es un punto álgido en el desarrollo e implementación de estas redes. Esta línea de trabajo se debería profundizar en investigaciones futuras.

Las WSN, a diferencia de las redes que hayamos estudiado hasta el momento, poseen limitaciones referentes a la vida útil de las baterías y la capacidad de cálculo, dificultando su implementación física. Lo primero está directamente relacionado con la necesidad inherente de energía para su funcionamiento, y a la dificultad que se presenta en el reemplazo de las baterías una vez establecida la red. La potencia de cálculo debe relacionarse con la portabilidad, y escalabilidad de los nodos.

Pero a pesar de ello, las WSN han evolucionado para convertirse en un puente entre el mundo físico de los sensores y actuadores; y el mundo virtual de la información y los servicios. Las WSN conforman una de las más activas áreas de investigación, y se estima que se encuentra en la parte ascendente de la onda del éxito comercial. Sin embargo el desarrollo de aplicaciones para WSN es aun complejo, dado que conviven el desafío natural de las aplicaciones distribuidas, y el de la programación integrada. Algunos parámetros extra que complican aun más el escenario son la influencia impredecible del medio ambiente, y el tamaño de este tipo de redes.

Las especificaciones de cada proyecto están íntimamente relacionadas a las modificaciones que deban realizarse a lo largo del mismo, y a que las aplicaciones ideadas para las distintas redes evolucionan a lo largo del tiempo de acuerdo a necesidades puntuales. Normalmente, los cambios en los proyectos se corresponden con implementaciones más largas, más caras e inexactas. Este punto es importante, dado que los veloces cambios experimentados en las WSN son inherentes al proceso de desarrollo alcanzado por la tecnología, y los avances logrados día a día en el tema.

Todo lo anterior debe considerarse en un marco que los contenga, abstrayendo de estas situaciones a los desarrolladores. Por lo contrario no se observa en los desarrollos actuales esta tendencia, sino que podríamos afirmar que cada proyecto se inicializa con el desarrollo de aplicaciones desde un nuevo punto inicial.

Se ha realizado en este trabajo un exhaustivo estudio del estado del arte de las redes inalámbricas y de su evolución histórica, para luego hacer especial hincapié en WSN, analizando los matices, características e innovaciones alcanzadas con la evolución de la tecnología involucrada.

Las herramientas utilizadas, se han integrado en una plataforma, donde Shawn, Eclipse e iShell conviven amigablemente. Además se ha investigado en líneas buscando soportes alternativos para nuestra WSN, para así lograr un soporte de conectividad sustentable, a costos accesibles. Se ha experimentado con la especificación de protocolos de alto nivel (ZigBee) para su utilización en radiodifusión digital de bajo consumo, la que encuentra su fundamentación en el estándar IEEE 802.15.4. Con ello, se ha logrado establecer una red piloto que sirve de punto inicial en una línea de

estudio de las WSN en la región. La red se encuentra operativa, y es por tanto un logro real del proyecto.

De los resultados obtenidos, tanto en simulación como en la implementación de las redes piloto, se han realizado comparaciones de rendimiento, capacidad y propiedades de cada nodo. Se ha establecido una relación entre el ambiente de las simulaciones, y la realidad; dentro de los límites impuestos por la disposición física de equipos para las experiencias.

Los nodos Jennic han demostrado ser sumamente confiables, y con un de alto rendimiento en los trabajos realizaos en campo y laboratorio.

Los resultados obtenidos son útiles para identificar y caracterizar el rol que juega cada uno de los componentes de hardware, y las aplicaciones involucradas; en las WSN. Se ha utilizado un simulador, con el que se han implementado entornos de cálculo y visuales; logrando de esta manera presentar resultados y estadísticas más agradables y amigables al entorno humano. Conjuntamente se ha integrado Vis a Shawn, dado que la simulación textual pura, no satisface la demanda de ciertos usuarios. Con la utilización de Vis, Shawn clarifica las topologías y las actividades de una simulación de manera de presentarlas en una manera más comprensible y amigable.

El trabajo realizado permite la utilización de tecnologías existentes, tales como las redes sociales, para extender el uso de la aplicación de WSN en nuestro país a lugares sin acceso a Internet, o hacia lugares con accesos sumamente restringidos, utilizando para ello la red de celulares y publicando resultados por medio de SMS. Esto es fundamental al momento de proyectar instalaciones en muchas regiones de nuestro país y la región.

La integración con Twitter no solo permite coleccionar racionalmente la información de los fenómenos, sino que se convierte en una forma de publicar, sociabilizar y transparentar información, que de otra manera es de difícil acceso. Uno de los resultados importantes, para las WSN; tiene que ver con la generación de alertas tempranas en distintas situaciones, de acuerdo a necesidades diferentes. La tecnología utilizada, ha demostrado un grado de integración y escalamiento que ameritan ser tenidos en cuenta para proyectos de contralor de una variedad de eventos, ya que consiste en una tecnología que no requiere una infraestructura de comunicaciones propia, utiliza una API para publicar sumamente cómoda, y con un mecanismo de acceder a los datos publicados por demás simple (por navegador o celular).

Trabajo Futuro

La investigación que se ha realizado durante esta tesis ha alcanzado los objetivos propuestos. Sin embargo, el área de investigación tanto de los algoritmos de consumo de energía y los de gestión de información; se han destacado como un ámbito interesante y diverso de las WSN, existiendo muchas líneas de trabajo con las cuales se obtendrían resultados muy importantes. Se vislumbra un amplio campo de trabajo para grupos interdisciplinarios interesados tanto en las redes de datos, como en el procesamiento distribuido.

El trabajo futuro debería concentrarse en una extensión de los entornos de desarrollo existentes, para así mejorar cada uno de los componentes actuales. En Shawn, es primordial incorporar modelos adicionales de implementaciones. Una de las formas de lograr esto, es alentar la participación de la comunidad Open Source, con lo que se contribuirá en su crecimiento.

Como trabajos futuros sobre el tema, deberían ser considerados:

- Implementación de seguridad en WSN.
- IPv6 en WSN.
- Simulación de consumo energético.
- Convergencia hacia la colaboración y participación de grupos de tareas con implementaciones actualmente en marcha.